Synthèses

LA FABRIQUE DE L'AGRONOMIE

De 1945 à nos jours

J. Boiffin, T. Doré, F. Kockmann, F. Papy et P. Prévost, coord.



éditions Quæ

La fabrique de l’agronomie
De 1945 à nos jours

Jean Boiffin, Thierry Doré, François Kockmann,
François Papy, Philippe Prévost, coordinateurs

Éditions Quæ
RD 10,
78026 Versailles Cedex

Collection Synthèses

Le Bruit en mer
Développement des activités maritimes et protection de la faune marine
F. Schneider, H. Glotin, coord.
2022, 160 p.

Zéro pesticide
Un nouveau paradigme de recherche pour une agriculture durable
F. Jacquet, M.-H. Jeuffroy, J. Juan, E. Le Cadre, T. Malausa, X. Reboud, C. Huygues, coord.
2022, 244 p.

Les Productions fruitières à l'heure du changement climatique
Risques et opportunités en régions tempérées
J.-M. Legave, coord.
2022, 464 p.

L'Action paysagère
Construire la controverse
H. Davodeau
2021, 168 p.

Pour citer cet ouvrage :
Boiffin J., Doré T., Kockmann F., Papy F., Prévost P., coord., 2022. *La Fabrique de l'agronomie. De 1945 à nos jours*, Éditions Quæ, Versailles, 498 p.

Éditions Quæ
RD 10, 78026 Versailles Cedex
www.quae.com www.quae-open.com

ISBN papier : 978-2-7592-3541-4
ISBN PDF : 978-2-7592-3542-1
ISBN ePub : 978-2-7592-3543-8
ISSN : 1777-4624

Table des matières

« Il ne concevait pas de savoir véritable auquel ne correspondît pas quelque pouvoir d'action. Créer, construire étaient pour lui inséparables de connaître et comprendre. »

Paul Valéry, Préface aux *Carnets de Léonard de Vinci*, 1942.

Remerciements

Nous remercions chaleureusement tous les auteurs de chapitres et d'encadrés, qui ont accepté de partager notre engagement dans ce projet et ont enrichi l'éventail d'expériences à partir duquel est construit cet ouvrage.

Au-delà du cercle des auteurs, d'autres collègues ont nourri nos réflexions, ou apporté des matériaux précieux, aux différentes étapes de son élaboration.

Avant le lancement de la rédaction de l'ouvrage, Pierre Cornu, André Gallais, Frédéric Goulet, Patrick Mayen, Éric Malézieux, Pierre Morlon, André Pouzet et Walter Rossing ont accepté de donner leur point de vue sur la structuration et le contenu du projet. C'est grâce à leurs encouragements que celui-ci a pu démarrer.

Par la suite, de nombreuses personnes ont apporté des informations et témoignages qui ont complété et enrichi notre propre vision. De la part des auteurs, nous remercions pour leurs contributions Madeleine Asdrubal, Jean-Pierre Baruteau, Mathieu Capitaine, Sylvain Carof, Philippe Debaeke, Bernard Fabre, Yvan Gautronneau, Bruno Guermonprez, Fabien Knittel, Jean-Marie Larcher, François Laurent, Christine Leclercq, Delphine Leenhardt, Anne Le Meun, Pierre Morlon, Jérôme Mousset, Christophe Naudin, Sylvain Pellerin, Guy Richard, Paul Robin, Hervé Savy, François Tardieu, Bertrand Vandoorne.

Suite à la rédaction d'une première version des chapitres, Claire Jourdan-Ruf, Marianne Le Bail, Philippe Leterme, Olivier Réchauchère et Egizio Valceschini ont relu et commenté les manuscrits. Leurs critiques approfondies et constructives nous ont été d'une aide considérable.

Bien plus largement, notre gratitude va aux innombrables collègues qui, au cours de nos trajectoires professionnelles, ont été, selon les cas, nos maîtres, nos compagnons de route ou des rencontres marquantes. Au cours de ces quatre années de travail, nous les avons retrouvés en pensée, et ils sont intensément présents dans ces pages.

Enfin, nous tenons à remercier les institutions dont le soutien financier a permis l'accès gratuit des versions numériques de cet ouvrage.

Jean Boiffin, Thierry Doré, François Kockmann,
François Papy, Philippe Prévost

Préface

Quel plaisir pour un agronome que de lire un livre aussi riche en récits passionnants que *La Fabrique de l'agronomie* ! Il s'agit d'une véritable autobiographie intellectuelle par des acteurs de l'évolution de la discipline. Une autobiographie de leur discipline portée par une diversité de témoignages d'agronomes aux métiers différents. C'est un récit historique, qui nous emmène dans un voyage de la seconde moitié du XXe siècle jusqu'à nos jours. L'évolution de l'agronomie a été profondément influencée par les grands changements scientifiques et sociaux de cette période, vécus par la majorité des auteurs. La création et l'évolution de l'Union européenne, la chute du mur de Berlin et la libéralisation des marchés, les transformations de la génétique, le développement de l'écologie en tant que science et en tant qu'éthique, l'industrialisation de la chaîne alimentaire et la prise en compte du paysage comme patrimoine culturel : l'agronomie reflète ces changements tout en y contribuant.

L'agronomie est au cœur de notre compréhension de la relation entre l'homme et son environnement, dans l'utilisation qu'il fait des terres pour fournir à l'humanité les denrées nécessaires, alimentaires certes, mais aussi fibres, fleurs et produits pharmaceutiques. Lors de la très longue période de chasse et cueillette qui a marqué notre préhistoire, l'homme a su vivre avec les régulations écologiques, dans un équilibre dynamique. Mais, dès les débuts de l'agriculture sédentaire et la nécessité de produire des surplus pour nourrir les populations urbaines, la relation homme-nature a changé. La croissance démographique a bousculé ce rapport écologique, menaçant le futur même de l'agriculture par la déforestation, l'épuisement de la fertilité des sols et leur érosion, la salinisation des terres irriguées. Ce n'est qu'à partir du XXe siècle que l'homme a commencé à jeter les fondements scientifiques d'une meilleure gestion des terres pour augmenter les rendements. Mais les solutions techniques retenues, à base d'intrants de synthèse comme les engrais ou les produits chimiques utilisés pour lutter contre les maladies et les adventices, représentent en eux-mêmes des dangers dont on a mis longtemps à prendre la mesure. À ce jour, « l'écologie », « le naturel » et « le bio » dominent les débats, non en tant que principes scientifiques, mais comme composants d'une éthique de vie. Ce qui semble venir de la nature ou qui paraît naturel est devenu la clé de voûte de l'agriculture à venir. Dans le futur, les agronomes auront pour tâche principale de formuler des solutions plurielles, en tâtonnant dans un dialogue construit avec les acteurs sociaux. C'est ainsi que par leurs engagements responsables ils continueront à faire reconnaître l'agronomie comme une discipline établie, utile pour la société.

Le lecteur restera impressionné non seulement par cette autobiographie d'une discipline, mais aussi par la passion qui anime ses praticiens dévoués. C'est dans cet engagement que chaque agronome, français ou étranger, de n'importe quelle génération, pourra se reconnaître : un engagement né du véritable souci de rendre cette discipline pertinente dans un contexte socio-économique et politique changeant,

voire même volatil. Il fut un temps où l'agronomie attirait les jeunes étudiants les plus doués. On peut avoir l'impression que c'est vers l'informatique qu'ils se tournent désormais. Ce livre démontre que les défis intellectuels n'ont pas diminué, ni au sein de la recherche, ni dans l'enseignement, ni dans le développement agricole. J'espère que *La Fabrique de l'agronomie* sera lue avec la même passion lucide que celle qui a animé ses auteurs.

Louise Fresco[1]

President of the Executive Board
of Wageningen University & Research
in The Netherlands

[1] Louise O. Fresco combine une longue carrière académique en tant que professeur à Wageningen et dans d'autres institutions, avec un engagement important dans la politique de développement, avec de nombreux programmes en Afrique, en Asie et en Amérique latine et l'enseignement en Suède, en Belgique et aux États-Unis.

Louise O. Fresco est membre de huit académies scientifiques et détient quatre doctorats honorifiques. Dix années de sa carrière ont été passées à l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Elle est directrice non exécutive au sein du conseil d'administration de Syngenta ainsi que de diverses organisations philanthropiques. Auparavant, elle a siégé aux conseils de surveillance de sociétés telles que Rabobank et Unilever et au conseil d'administration du Royal Concertgebouw Orchestra.

Son livre à succès *Hamburgers in Paradise: The Stories Behind the Food We Eat* a été traduit en plusieurs langues. Au total, elle a publié treize livres de fiction et de non-fiction, et elle écrit également une colonne bihebdomadaire dans le *NRC*, le principal journal du soir des Pays-Bas. Elle a présenté un documentaire en six parties sur l'alimentation et le développement pour la télévision publique néerlandaise (à retrouver sur son site web www.louiseofresco.com). Et sa conférence TED à Palm Springs en 2009 *Nourrir le monde entier* est largement connue.

Introduction générale

La construction d'une discipline scientifique et technique : récits d'agronomes

Jean Boiffin, Thierry Doré, François Kockmann,
François Papy, Philippe Prévost

À plusieurs reprises lorsque, sous l'impulsion de la société, l'agriculture a dû prendre des orientations nouvelles, on en a appelé à l'agronomie. Ce fut le cas lors de la période dite « de modernisation de l'agriculture » après la Seconde Guerre mondiale. Ce fut à nouveau le cas dans les années 1980, lorsque les inconvénients liés à cette modernisation sont clairement apparus, à côté des bénéfices qu'elle avait apportés. Et de nouveau en ce début de XXIe siècle, lorsque les enjeux liés au climat et à la biodiversité, ainsi que l'inquiétude renouvelée quant aux capacités nourricières de l'agriculture pour satisfaire les besoins d'une population toujours en croissance, se sont ajoutés aux préoccupations antérieures. À chacune de ces occasions, en des termes pratiquement similaires, est évoquée la nécessité d'un « retour à l'agronomie ». Cette invocation atteste du besoin de connaissances spécifiques en particulier pour la production végétale, indispensables pour pouvoir raisonner une réorientation de l'activité agricole. Elle a toutefois une connotation fixiste, comme s'il suffisait de revenir à certains fondamentaux ayant toujours existé, mais dont les acteurs de l'agriculture se seraient à certains moments éloignés ; une sorte de droit chemin qu'il faut savoir rejoindre.

En réalité, loin d'être un patrimoine intangible, l'agronomie n'a au contraire cessé d'évoluer depuis la Seconde Guerre mondiale. Si elle peut être un repère, c'est, davantage que par un contenu et des règles immuables, par sa capacité à garder le cap d'une production de connaissances originale au bénéfice du raisonnement de l'agriculture. Pour maintenir ce cap qui est sa raison même d'exister, elle s'est construite initialement sur le fondement des connaissances issues d'autres disciplines, a développé ses propres concepts, puis a en permanence intégré dans ses productions scientifiques et techniques les savoirs produits par une diversité d'acteurs et de disciplines pour répondre aux nouveaux enjeux auxquels l'agriculture a été confrontée. Cette évolution qui lui a permis de renouveler son utilité, c'est précisément l'objet de cet ouvrage : comment l'agronomie que nous connaissons aujourd'hui a-t-elle été fabriquée, quels sont les acteurs de sa genèse et de ses transformations progressives ?

La Fabrique de l'agronomie décrit ainsi la manière dont l'agronomie s'est façonnée en France du milieu du XXe siècle à nos jours. Au-delà de la description des acteurs et des

faits, ce livre représente aussi, ce faisant, une tentative d'ouvrir la « boîte noire » de la construction d'une discipline, en espérant que cette entreprise sera utile à l'évolution de l'agronomie et à celle d'autres disciplines.

⏩ Un témoignage pluriel

Au titre des prolégomènes, il est utile de préciser d'où parlent les auteurs, et le point de vue qu'ils adoptent. Cet ouvrage est écrit par des agronomes. Ils analysent la construction de la discipline qui a été au centre de leurs diverses activités professionnelles, et n'ont de ce fait pas le regard distancié qu'auraient des spécialistes de l'histoire des sciences ou de l'épistémologie. Au contraire, ayant fait eux-mêmes partie des acteurs qui ont construit l'agronomie, ils ont un regard qu'on pourrait qualifier d'engagé. Cet ouvrage est donc d'abord un témoignage, en partie direct, mais également fondé sur nombre de sources tierces, de ce que furent et de ce que sont encore les « ateliers » de fabrique de l'agronomie en France : leurs acteurs, leurs outils, leurs matériaux et processus de fabrication, leurs ambiances, leurs produits finis, leurs relations avec les ateliers voisins ; ou encore leur manière de renouveler la production, sous quelles influences et pour quelles finalités. Ces « portes ouvertes » de la fabrique le sont sur plus d'un demi-siècle d'activité, pour pouvoir capter la manière dont l'agronomie se construit. Nous ne prétendons pas exposer ainsi une théorie de l'évolution de l'agronomie comme discipline, mais plutôt faire un travail de repérage des processus d'évolution de ses contenus, et si possible une analyse de ces processus. Les dimensions temporelle et épistémique sont donc essentielles, et très présentes, dans les différents chapitres, et nous avons pris soin de référer nos propos à des témoignages, à des faits marquants (écrits, événements…) datés constituant autant de jalons. L'ouvrage n'a cependant la prétention d'être ni un livre d'histoire, ni un livre d'épistémologie – c'est un livre d'agronomie. Nous serons néanmoins heureux si la matière de cet ouvrage, au-delà d'une utilité pour les agronomes, pouvait un jour devenir du matériau pour historiens – et la remarque vaut également pour l'épistémologie.

Ces éléments de cadrage distinguent clairement ce livre de ceux qui, tout en traitant d'agronomie dans une dimension historique, ont adopté des perspectives différentes. Ainsi, *Histoire et agronomie* (Robin *et al.*, 2007) et *Histoire de l'agronomie en France* (Boulaine, 1992) portent sur un ensemble plus large de disciplines et donnent des éléments historiques remontant parfois jusqu'aux dynasties égyptiennes. *Histoire des agricultures du monde* (Mazoyer et Roudart, 1997), tout en comportant des éléments d'agronomie, s'intéresse d'abord à l'agriculture. *Les Sentiers d'un géoagronome* (Deffontaines, 1998) ou encore *Penser et agir en agronome* (Boiffin et Doré, 2012) croisent le présent ouvrage, mais à partir de seules trajectoires individuelles (respectivement celles de J.-P. Deffontaines et M. Sebillotte). Enfin, *Une agronomie pour le XXIe siècle* (Richard *et al.*, 2019) donne, sur la période des deux dernières décennies, des éléments très riches sur la manière dont l'agronomie a interagi avec d'autres disciplines présentes dans le même département de l'Inra, de façon à adapter les recherches de ce département aux enjeux sociétaux – en s'intéressant toutefois aux objets d'étude de l'agronomie davantage qu'aux processus de son évolution. Finalement, dans le domaine des sciences agronomiques, l'ouvrage de Gallais (2018) *Histoire de la génétique et de l'amélioration des plantes* est celui qui, sur une autre discipline, par son projet comme dans une certaine mesure par son contenu, s'approche le plus de notre propos : la coconstruction d'une discipline *via* les différents métiers de ceux qui la pratiquent.

⏩ Trois grands choix pour un propos cohérent et un objectif atteignable

Notre objectif, pour demeurer accessible, nécessitait d'assumer quelques choix ; nous en avons fait principalement trois. La première option prise concerne l'acception même du terme « agronomie ». Pour nous, agronomie s'entend « au sens strict », c'est « l'étude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu et les pratiques agricoles » selon la définition adoptée par l'Association française d'agronomie. Elle se distingue clairement de l'agriculture (le fait de produire des denrées agricoles), mais aussi de l'agronomie au sens large. Cette dernière acception est utilisée – souvent sous forme d'adjectif, par exemple dans « recherche agronomique » ou « formation agronomique » – pour rassembler toutes les disciplines qui concourent à l'analyse, la compréhension et l'évolution des activités agricoles – et qui incluent ainsi, par exemple, l'économie rurale ou encore la génétique animale. Il nous apparaît qu'il y a bien un intérêt majeur à prendre l'agronomie dans son sens strict quand on s'intéresse aux rapports de l'agriculture à la société au cours du temps : c'est l'évolution d'une discipline qui nous intéresse ici, pas celle d'un domaine plus vaste. Il existe néanmoins aussi une construction institutionnelle de l'agronomie au sens large prise comme un tout, dont l'intérêt est évident y compris pour éclairer la dynamique de l'agronomie *stricto sensu*. D'ailleurs il existe déjà en France un travail réflexif sur l'histoire des sciences agronomiques, entrepris notamment au sein du comité d'histoire d'INRAE, dont les productions – que nous utiliserons dans plusieurs chapitres – éclairent cette construction ; voir notamment *L'Histoire de l'Inra, entre science et politique* (Cornu *et al.*, 2018).

Le second choix que nous avons effectué correspond au périmètre « géographique » que nous considérons. Notre choix est de traiter de la fabrique de l'agronomie en France, pays où l'agronomie existe comme discipline, ce qui est le cas dans plusieurs autres grands pays agricoles et scientifiques, mais pas dans tous. Bien sûr les communautés scientifiques, partout dans le monde, se sont organisées pour appuyer les évolutions de l'agriculture. Mais elles ne l'ont pas fait de la même manière, et n'ont pas forcément fait exister comme en France une discipline similaire à l'agronomie. Il y aurait certes un grand intérêt à mener une analyse comparée des constructions épistémiques et institutionnelles qui ont permis d'accompagner les évolutions de l'agriculture dans différents pays, mais il s'agirait alors d'un autre projet, qui nous éloignerait de la compréhension de la fabrique de l'agronomie telle qu'elle a eu lieu en France. Embrasser la diversité des fabriques de l'agronomie dans le monde serait une tâche gigantesque et sans doute hors de portée si on souhaitait la mener avec une volonté de compréhension fine des rouages de leur construction. Pour autant, ce qui s'est construit en France a été le fruit d'interactions régulières avec des communautés étrangères, comme d'ailleurs avec d'autres disciplines des sciences agronomiques, et nous rendrons compte autant que de besoin de ces interactions.

Enfin, nous faisons débuter notre récit au milieu du XXe siècle. Ce sera décrit dans différents chapitres : le milieu du XXe siècle, après que la Seconde Guerre mondiale aura bouleversé beaucoup de repères, de liens et de manières d'agir, apparaît pour l'agronomie comme l'amorce d'une renaissance, ce qui justifie d'utiliser ce marqueur temporel comme point de départ de notre propos. Il est néanmoins clair que, du point de vue des contenus comme du point de vue des faits générateurs des évolutions de l'agronomie, cette renaissance ne s'écrit pas sur une page blanche : que l'on remonte

à De Gasparin, à Duhamel du Monceau ou, plus loin encore, aux auteurs romains, la manière de raisonner la conduite des cultures a été relatée, analysée, et en partie théorisée. Il existe donc des héritages issus des périodes antérieures, dont nous nous efforcerons de faire état chaque fois que nécessaire. Plus prosaïquement, il existe des raisons pratiques à ce choix : disponibilité des sources écrites, plus rares avant la Seconde Guerre mondiale, et témoignages encore possibles de personnes qui, si elles n'ont pas vécu professionnellement l'immédiat après-guerre, ont côtoyé ceux qui ont construit l'agronomie à cette époque, ce qui est essentiel compte tenu de notre projet de rendre compte de la fabrique de l'agronomie par ses acteurs.

⏩ Lignes directrices de notre récit

La forme de témoignage que revêt l'ouvrage et les trois grands choix mentionnés ci-dessus nous amènent à expliciter certaines lignes directrices de notre démarche, en cohérence avec nos propres expériences. Chercheurs, enseignants, acteurs du développement, nous avons pratiqué l'agronomie comme une discipline participant de deux registres, à la fois scientifique et technique. Depuis les débuts de l'agriculture, les évolutions de l'activité agricole ont été le produit d'innovations dont les agriculteurs étaient les premiers acteurs : ils les formulaient, les mettaient en œuvre, les évaluaient, les adoptaient – ou pas. Les innovations retenues – variétales, relatives aux outils, aux rotations, etc. – intégraient les corpus de règles, d'abord orales puis écrites, régissant la conduite de l'activité agricole. C'est l'expérience, au double sens de tentative et de capital acquis, qui était le moteur des transformations des agricultures. L'agronome a ainsi été, pendant longtemps, le dépositaire des savoirs accumulés. Le terme désignait historiquement celui qui régissait l'activité d'un domaine agricole, en fonction de connaissances techniques et des règles juridiques en vigueur. L'agronomie, au sens large évoqué ci-dessus, était alors constituée d'ensembles de règles utiles à l'agriculture. Le développement des sciences a petit à petit permis une augmentation des savoirs de l'expérience par ceux de la connaissance scientifique, en quelque sorte l'hybridation de l'expérience avec l'expérimentation. L'agronomie est apparue alors aussi comme discipline scientifique permettant d'accroître les connaissances sur le fonctionnement du monde, utiles pour la mise en œuvre des pratiques agricoles, sans perdre sa composante de corps de règles – évolutives – pour l'agriculture. L'agronomie contemporaine, ici considérée au sens strict, est ainsi de manière insécable, consubstantielle, une discipline à la fois scientifique *et* technique. Tournée vers l'action – et c'est en ce sens une ingénierie –, elle est aussi tournée vers la connaissance (y compris la connaissance sur l'action de cultiver). Cette double dimension de corps de règle et de corps de connaissance a eu des implications considérables sur la construction de la discipline. Ainsi, par exemple, chacune des dimensions n'est pas soumise aux mêmes pressions évolutives – celles de la progression des fronts de science, celles des évolutions voulues pour l'agriculture –, et le risque existe en permanence qu'une dimension l'emporte sur l'autre, suite à un déséquilibre de ces pressions. Maintenir dans la fabrique de l'agronomie le lien entre la science et la technique, entre la recherche et l'ingénierie, a nécessité soit de le prendre explicitement en compte dès le démarrage des différents travaux de construction de la discipline, soit d'apporter régulièrement des correctifs pour tenir compte des dérives. C'est ce parcours qui permet à l'agronomie d'être à l'heure actuelle reconnue à la fois sur le plan académique comme une discipline à part entière, produisant de la connaissance générique sur le monde, et distincte d'autres

disciplines partageant une partie de ses objets; et sur les plans socioprofessionnel et politique comme une discipline d'ingénierie permettant l'aide à la décision stratégique et opérationnelle, qu'il s'agisse de la décision des acteurs intervenant directement sur les agroécosystèmes, ou de celle des décideurs publics. Cette tension est un fil conducteur essentiel de l'ouvrage.

Un autre parti pris, lié au caractère «engagé» évoqué ci-dessus, est de ne pas chercher l'exhaustivité dans notre manière de présenter la fabrique de l'agronomie. Nous l'avons dit, nous ne cherchons pas à écrire une théorie explicative générale de la construction de la discipline, mais à repérer un certain nombre de processus. Il est certain qu'une partie de ces processus nous a échappé. Agronomes ayant majoritairement travaillé en région tempérée et en grande culture, nous sommes conscients de la coloration particulière que ces histoires personnelles donnent à notre témoignage. Pour se prémunir de ce qui aurait pu amener à une déformation complète de l'image que nous restituons, nous avons cherché d'une part à élargir le plus possible nos sources, et d'autre part à partager l'écriture des différents chapitres avec des coauteurs aux compétences complémentaires des nôtres. Après avoir structuré l'ouvrage, nous avons ainsi démultiplié les regards en faisant appel à des histoires et sensibilités différentes des nôtres, élargissant ainsi notablement la collection d'expériences mobilisées – tout en veillant à ce que l'ensemble des contributions s'inscrive bien dans la construction générale, pour préserver une cohérence à l'ouvrage. Néanmoins, certains secteurs de l'agriculture restent quelque peu sous-représentés dans les cas concrets qui nous ont servi de substrat pour illustrer et analyser les processus de construction de l'agronomie. C'est le cas par exemple des systèmes fourragers à l'interface entre productions végétales et animales, et celui des cultures spécialisées (maraîchage spécialisé, cultures pérennes, en particulier).

Enfin, dans la forme de l'ouvrage, notre parti pris éditorial a été de traiter de manière diachronique les différents thèmes de l'ouvrage pour constituer des récits cohérents sur chacun des thèmes, plutôt que de proposer chronologiquement les étapes de la fabrique de l'agronomie dans une succession de chapitres datés. Sur la période choisie, de 1945 à nos jours, nous retrouvons globalement dans chacun des chapitres trois grandes périodes : un premier tiers d'émergence et de différenciation; un deuxième où l'agronomie construit, dans une dynamique de structuration, un corpus conceptuel et méthodologique pour produire des connaissances utiles à la fonction productive de l'agriculture; et un troisième, période d'épanouissement à partir de laquelle l'agronomie s'ouvre à de nouveaux horizons pour répondre à d'autres enjeux que la seule fonction productive.

Deux manières d'aborder la fabrique

L'ouvrage est structuré en deux grandes parties. La première partie présente l'évolution de l'agronomie en tant que discipline scientifique et technique, en décrivant les étapes majeures à travers lesquelles se sont constitués son corpus théorique et méthodologique, et son référentiel d'action, tels qu'ils se présentent aujourd'hui. Certaines de ces étapes sont des évolutions progressives, d'autres des ruptures plus ou moins radicales, à la suite desquelles de nouveaux cadres théoriques se substituent aux précédents. Cette partie est segmentée en cinq chapitres, dont les trois premiers décrivent successivement les domaines, objets et concepts de l'agronomie, puis ses approches, méthodes et outils, enfin les échelles traitées dans les questions agronomiques. Ces trois premiers

chapitres permettent de clarifier le périmètre de l'ouvrage, donnent à voir ce que l'on entend par la « fabrique », et sont l'occasion pour le lecteur de se familiariser avec les grandes périodes qui vont marquer l'évolution de l'agronomie, et que l'on retrouvera peu ou prou dans les autres chapitres. Les deux chapitres suivants traitent respectivement de la manière dont l'interaction entre d'autres disciplines et l'agronomie a participé de la construction de cette dernière, et du rapport que l'agronomie a entretenu avec l'innovation au cours de la période considérée. Il s'agit là de deux processus clés de la fabrication de l'agronomie. Cet ensemble de cinq chapitres permet de comprendre son évolution en quelque sorte endogène, dans une partie qui met l'accent sur les processus apportant une cohérence interne, toujours évolutive, de la discipline. On y observe certains éléments sans doute fondateurs et qui en tout cas ont conservé une permanence. En particulier, il existe en agronomie une dialectique entre d'une part un ancrage qui considère l'agroécosystème comme objet d'étude en y intégrant les pratiques humaines (agricoles essentiellement) ; et d'autre part une grande porosité, une forte ouverture à un enrichissement méthodologique, conceptuel et cognitif par des disciplines « voisines ». L'agroécosystème anthropisé (« le champ cultivé » est en quelque sorte l'objet d'étude emblématique de l'agronomie) n'est pas vu uniquement comme un objet dont l'agronomie doit contribuer à comprendre le fonctionnement, mais également comme un objet dont elle doit permettre le pilotage. Simultanément, l'ouverture aux autres disciplines facilite l'évolution dynamique de l'agronomie. Elle lui permet de s'enrichir pour mener à bien sa double tâche – qui peut être menée par des agronomes de métiers différents – de compréhension et d'aide à l'action. Mais elle lui permet en même temps aussi d'évoluer dans ses objets. Ce que recouvre l'agroécosystème – champ cultivé, territoire sous toutes ses formes – évolue quand cette mutation est nécessaire pour que la dimension orientée par l'action de l'agronomie continue à être en prise avec les attentes de la société vis-à-vis de l'agriculture. La première partie de l'ouvrage s'attachera à présenter ce mélange de permanences et d'évolutions, parfois lentes et parfois plus brutales, dans le corpus scientifique et technique de l'agronomie.

La seconde partie porte sur l'inscription de l'agronomie dans la société française à travers en particulier ses institutions. Comme évoqué ci-dessus, on cherche à comprendre les processus, mais aussi les déterminants de la fabrique de la discipline. Pour cela, on examine comment ont évolué certaines interactions majeures entre l'agronomie (et/ou les agronomes de divers métiers qui l'ont mise en pratique) et l'environnement socio-économique et politique dans lequel s'est inscrit son développement. Là encore, le choix a été fait de ne pas structurer cette partie chronologiquement, mais cette fois-ci de consacrer un chapitre à chaque grande catégorie d'institution ou groupe socioprofessionnel, afin de pouvoir approfondir l'évolution du rôle joué par chacun d'eux. Les deux premières catégories, recouvrant l'arène académique, traitent des rôles respectifs de la recherche et de la formation dans la fabrique de la discipline (chapitres 6 et 7). Ces institutions sont par construction à la source de la discipline scientifique dont les évolutions ont été présentées dans la première partie. Mais leurs rôles respectifs ont pu être très différents selon les périodes ou les lieux, et dans chacune de ces deux catégories il a pu exister des contributions assez distinctes à la construction et au développement de l'agronomie, par exemple en recherche entre les institutions traitant des agricultures tempérées et celles s'intéressant aux agricultures méditerranéennes ou tropicales, ou au sein de l'enseignement entre l'enseignement supérieur et l'enseignement technique. Les deux derniers chapitres concernent les relations entre

l'agronomie et respectivement le développement agricole (l'arène socioprofessionnelle de la construction et du déploiement de l'agronomie) et les politiques publiques (l'arène politique). De manières diverses – et parfois contraires – selon les époques, ces sphères d'action ont eu un poids significatif dans l'orientation des finalités de l'agronomie, et dans sa mise à l'épreuve du réel. Elles ont ainsi joué un rôle essentiel de force de rappel entre les dimensions scientifique et ingénierique de la discipline. Selon les cas et les périodes, ces interactions et leurs modifications sont des facteurs explicatifs et/ou des conséquences révélatrices des évolutions de l'agronomie.

Le travail réflexif et rétrospectif que nous avons mené avec nos coauteurs pour écrire cet ouvrage a été parsemé de multiples interrogations. Comment la cohérence et l'autonomie de l'agronomie résistent-elles aux emprunts à d'autres disciplines ? Jusqu'à quel point la dimension ingénierique de l'agronomie (les règles de raisonnement) continue-t-elle à être de fait nourrie par sa dimension scientifique, et la nourrit-elle en retour ? Et quelle influence réelle ces règles ont-elles sur les pratiques des agriculteurs ? Jusqu'à quel point la fabrique de l'agronomie est-elle le reflet de grands déterminismes exogènes (enjeux socio-économiques, évolution générale des sciences, etc.) ? En quoi l'agronomie s'est-elle construite en dépendance vis-à-vis des objectifs assignés à l'agriculture au fil de l'évolution de la société française ? A-t-elle eu une capacité d'influence sur ces évolutions ? Si l'utilité sociale de l'existence d'une discipline autonome sur la période étudiée semble effective, ne s'agit-il néanmoins que d'un phénomène conjoncturel au regard du temps long ? Que représente le cas de l'agronomie au regard de la diversité des constructions disciplinaires ? Davantage que pour apporter des réponses définitives à ce type de questions, l'ouvrage que vous vous apprêtez à lire est là pour les faire émerger, fournir des éléments factuels pour les instruire et alimenter le débat, et donner aux agronomes l'envie de continuer à faire vivre leur discipline.

1re partie

Une dynamique scientifique

Chapitre 1

Évolution des domaines, objets, concepts de l'agronomie

Thierry Doré

L'agronomie se définit par ceux qui s'en revendiquent et la font reconnaître. Il n'existe en effet pas davantage de démiurge muni d'un plan de création, que d'ordre ou de comité garantissant une orthodoxie agronomique. Il s'agit ainsi dans ce premier chapitre de donner une idée générale de l'évolution des contours et du contenu de la discipline, et de la manière dont elle a été construite et transformée par ceux qui l'ont présentée, et travaillée, justement, comme une discipline. Cette existence disciplinaire moderne de l'agronomie en France s'est élaborée progressivement. Au milieu du XXe siècle, la distinction entre l'agronomie au sens large (les sciences agronomiques) et l'agronomie au sens strict n'était pas clarifiée, non plus que l'était, *a fortiori*, celle entre l'agronome diplômé d'une école d'ingénieur et l'agronome spécialiste de la discipline agronomie. Le travail d'identification de cette dernière a dû se réaliser en élaborant et en caractérisant un corpus spécifique, certes partie intégrante des sciences agronomiques, mais correspondant à un sous-ensemble de ces sciences. Ce travail d'identification progressive a été jalonné de succès[1], puisque l'agronomie a progressivement été reconnue sur le plan académique et institutionnel : on recrute des professeurs d'agronomie, et l'Institut national de la recherche agronomique (Inra, devenu INRAE) par exemple possède depuis plusieurs décennies un département de recherche couvrant l'agronomie, et ouvre des concours de chercheurs dans la discipline. Cette distinction entre l'agronomie au sens large et l'agronomie au sens strict n'est cependant jamais complètement acquise. Elle peut en effet être menacée par trois phénomènes. Le premier est un phénomène de dilution, liée à la prédominance quantitative de l'emploi du terme « agronomie » au sens large : quand la distinction est méconnue, c'est toujours dans le sens large que le terme est employé. Le deuxième est un phénomène d'« agricolisation », au sens où l'on considérerait que ce que produit l'agronomie ne relèverait que de la pratique agricole, et non aussi du registre scientifique : l'incantation récurrente du nécessaire « retour à l'agronomie » dans le discours politique pour qualifier un nécessaire changement de pratiques agricoles illustre ce risque. Le troisième enfin est un phénomène de dissolution : l'agronomie serait

1. Partiels toutefois, en particulier dans le monde universitaire : l'agronomie n'apparaît pas par exemple dans les sections du Conseil national des universités, et l'option Agronomie du DUT Génie biologique considère l'ensemble des sciences agronomiques.

digérée par d'autres, et n'aurait plus de raison d'être. C'est ce que d'aucuns considèrent dans les rapports entre l'agronomie et l'agroécologie, en suggérant que cette dernière rend l'agronomie caduque.

L'histoire de l'agronomie en France au cours des soixante-quinze dernières années, c'est, au fond, l'histoire de cette acquisition d'une identité propre, sur la base d'une reconnaissance scientifique et d'une utilité sociale. Le présent chapitre est structuré en trois parties traitant respectivement des contours disciplinaires, des objets d'étude et des concepts utilisés. Il va de soi cependant que l'évolution réelle de l'agronomie résulte du renforcement mutuel de ces trois champs, dont le tableau 1.1 donne quelques repères chronologiques permettant d'identifier les simultanéités.

Tableau 1.1. Positionnements chronologiques respectifs d'émergence des domaines, objets et concepts de l'agronomie entre 1945 et 2020.

Période	Domaines principaux émergents	Objets principaux	Concepts émergents
1945-1960	Expérimentations analytiques en laboratoire	Matériau terre Plante entière Phénomènes bioclimatiques Fertilisation	Appropriation de concepts issus des sciences du milieu physique et de la physiologie végétale
1960-1970	Diagnostic au champ	Sol Raisonnement des techniques (fertilisation, travail du sol, irrigation)	Concepts interdisciplinaires permettant une approche intégrée du fonctionnement du champ (par exemple sur le fonctionnement hydrique) Parcelle, exploitation agricole
1970-1990	Analyse systémique du fonctionnement du champ cultivé Analyse des pratiques agricoles Analyse régionale de l'agriculture	Peuplements cultivés Champ cultivé Diversité des exploitations agricoles Raisonnement des pratiques	Peuplement cultivé, élaboration du rendement Itinéraire technique, système de culture et concepts dérivés Concepts écophysiologiques partagés avec l'écologie fonctionnelle Modèle d'action
1990-2005	Liens entre pratiques agricoles et impacts environnementaux Insertion des pratiques agricoles dans les filières	Mécanismes fins des relations climat-sol-plante Flux de matière dans l'espace agricole Élaboration de la qualité des produits au champ Organisation des filières	Relations structure-fonction chez les plantes Bassin-versant, unités agrophysionomiques Bassin d'approvisionnement, système local d'approvisionnement
2005-2020	Fonctionnement des agroécosystèmes à différentes échelles Pratiques agricoles et enjeux globaux	Composantes biologiques des agroécosystèmes Systèmes innovants	Appropriation de concepts issus de l'écologie des populations et des communautés

⏩ Une identification en chantier continu

S'il n'y a pas d'accord simple sur ce qu'est l'agronomie au fil du temps, sur quoi se fonder pour saisir l'évolution de ses contours ? Notre parti pris a été de nous appuyer sur une ossature constituée des ouvrages, publiés à différentes époques, dont l'objectif affiché est de faire une présentation générale de l'agronomie. Aujourd'hui, un manuel d'agronomie n'a plus du tout la même structure et le même contenu que ceux du début des années 1950 : extension du champ couvert, apparition de pans entiers de la discipline qui n'étaient même pas envisagés, s'appuyant sur des notions et concepts nouveaux, évolution radicale dans la nature même des connaissances présentées et leurs finalités. Ces ouvrages constituent autant de témoignages de l'état de la discipline à une période donnée. Cette base a été complétée de faits ou publications marquants, retenus parce qu'ils nous semblent bien illustrer telle ou telle inflexion ou enrichissement, ou en être les pivots.

En un demi-siècle, des évolutions très notables

Cinquante ans séparent la cinquième et dernière édition du tome II des *Principes d'agronomie* de Demolon[2], et la parution de *L'Agronomie aujourd'hui* de Doré *et al.* en 2006. À un demi-siècle de distance, ces deux ouvrages présentent un rapport tout à fait contrasté de l'agronomie à l'agriculture d'une part, et aux autres disciplines d'autre part. Dans les deux cas, le terme est bien présent dans le titre. Mais la manière de caractériser l'agronomie y est très différente.

Sans en donner de définition, la préface des première et cinquième éditions du tome II des *Principes d'agronomie* donne un éclairage sur ce que Demolon considère être l'agronomie. Il écrit en 1934 : « Le lecteur aura ainsi une vue d'ensemble des principes sur lesquels s'appuie actuellement l'agronomie, science appliquée, distincte dans son objet comme dans ses méthodes », et en 1956 : « Nous avons rappelé sommairement quelques données de base acquises au laboratoire dans le domaine de la physiologie végétale, de la biochimie et de l'écologie. Mais nous nous sommes surtout attachés à développer les enseignements qu'il est possible de tirer des expériences poursuivies au champ dans les conditions mêmes de l'agriculture. » Il existe donc bien pour lui un corpus de connaissances qui s'ajoute à ceux des disciplines qui nourrissent, voire sont des éléments constitutifs de l'agronomie ; et ce qui caractérise ce corpus, c'est qu'il est obtenu dans les conditions de l'agriculture, par opposition aux conditions expérimentales du laboratoire, qui sont le lieu de prédilection de la connaissance scientifique dans les autres disciplines sur lesquelles s'appuie l'agronomie à l'époque. Dans une certaine mesure, pour Demolon, l'agronomie, ce serait une sorte d'addition de science du sol, physiologie végétale, climatologie, écologie « augmentées ». Pris ensemble, les deux tomes des *Principes d'agronomie* contiennent une proportion beaucoup plus importante de résultats expérimentaux de laboratoire que de résultats « agronomiques », donc obtenus au champ (même en incluant dans ces derniers toute une partie relative à la pédogenèse et aux différents types de sols décrits *in situ*). Ces résultats agronomiques sont suivis d'une série de considérations relatives à la valorisation des connaissances de laboratoire pour la conduite des cultures. Toutefois,

2. Cette version prête en 1954, année du décès de l'auteur, n'est parue qu'en 1956 ; la cinquième édition du tome I était quant à elle parue en 1951.

globalement, les connaissances en physiologie végétale, en science du sol, en climatologie, occupent au moins les quatre cinquièmes de l'ouvrage (encadré 1.1); elles sont présentées en amont des connaissances spécifiquement agronomiques, qui leur font systématiquement suite. L'identité de l'agronomie présente dans les *Principes d'agronomie*, c'est ainsi la somme des connaissances issues d'autres disciplines utiles pour la conduite des cultures, des connaissances spécifiquement produites au champ, et des principes de conduite des cultures qu'on peut en déduire.

En 2006, dès l'introduction de l'ouvrage *L'Agronomie aujourd'hui*, une définition de l'agronomie est donnée, ou plutôt deux définitions, celle de Hénin, « Écologie du champ cultivé »[3], et celle de Sebillotte en 1977, « Étude, menée simultanément dans le temps et dans l'espace, des relations au sein de l'ensemble constitué par le peuplement végétal et le milieu physique, chimique et biologique et sur lequel l'homme agit pour en obtenir une production ». Ces définitions pointent « les deux centres de gravité » de la discipline : l'analyse et la compréhension de l'agroécosystème, et l'action de l'homme sur cet agroécosystème. Elle insiste sur les rapports d'intersection et d'indépendance avec d'autres disciplines, ainsi que sur la distinction entre agriculture et agronomie. Plus de place donc pour une hésitation quant à l'identité de l'agronomie. Par rapport à l'ouvrage de Demolon, la construction de *L'Agronomie aujourd'hui* rend ensuite compte d'un renversement assez fort de perspective et de relation aux autres disciplines ayant un objet sécant avec l'agronomie (encadré 1.1). La première partie de l'ouvrage traite en effet des notions d'itinéraire technique et de système de culture, spécifiques de l'agronomie, et la dernière partie des notions d'agronomie utiles pour traiter des questions d'environnement et de filières de production végétale. Ces deux parties sont reconnues de nos jours comme typiquement agronomiques, alors que leur contenu, même sous une forme d'ébauche ou de prolégomènes, n'est pas identifiable chez Demolon. Elles encadrent les deux autres parties, l'une relative au peuplement végétal, l'autre au milieu, dont les objets étaient quant à eux bien présents dans les *Principes d'agronomie*. Toutefois c'est, dans *L'Agronomie aujourd'hui*, avec un rapport aux autres disciplines tout à fait différent de celui des *Principes d'agronomie* : le point de départ n'est plus constitué de connaissances fondamentales en physiologie ou en sciences du sol, agrégées progressivement à des niveaux d'organisation de plus en plus élevés, mais des comportements globaux du peuplement végétal et du milieu, finalisés par différentes fonctions, que l'on caractérise, en s'appuyant pour cela sur les connaissances analytiques issues de disciplines-mères, incorporées dans le savoir agronomique.

Le tournant des années 1970

Comment cette transformation radicale quant à la façon dont se présente la discipline dans son identité s'est-elle réalisée sur un demi-siècle ? En se référant de nouveau à des ouvrages, deux jalons supplémentaires peuvent être mobilisés : *Éléments d'écologie et d'agronomie*, par Duthil, paru en 1971 et 1973; et les polycopiés d'enseignement de première année utilisés par Sebillotte à partir de 1977 à l'Institut national agronomique Paris-Grignon (INA P-G) (Sebillotte, 1978a).

3. La citation exacte de 1971 étant en réalité « l'agronomie peut être définie comme une écologie appliquée à l'amélioration de la production végétale et à l'aménagement du territoire ».

Encadré 1.1. Sommaires des ouvrages de Demolon (1956) et Doré *et al.* (2006).

■ ***Principes d'agronomie* (hors préfaces)**

Encadré 1.1. Sommaires des ouvrages de Demolon (1956) et Doré *et al.* (2006). (suite)

Les *Éléments d'écologie et d'agronomie* sont, du point de vue de leur contenu global, en filiation directe avec les *Principes* de Demolon. Le premier tome est consacré à la *Connaissance du milieu*, les deux suivants au thème *Exploitation et amélioration du milieu*. Où se situent respectivement l'écologie et l'agronomie, toutes deux présentes dans le titre, dans cet ensemble ? Duthil précise dès la première page du premier tome ce qu'il entend par écologie : suivant Azzi, qu'il cite, pour lui « l'écologie agricole est l'étude du milieu physique (sol et climat) dans ses rapports avec le développement des plantes cultivées et leur rendement ». Cette définition de l'écologie – bien éloignée des périmètres actuels de cette discipline, même restreinte au domaine agricole – correspond donc au contenu du premier tome, et par conséquent ce qui caractérise l'agronomie présente dans le titre de l'ouvrage, ce sont les deux fascicules suivants, qui portent sur le raisonnement de l'action de l'homme sur le milieu. Si la structure générale des ouvrages de Demolon et de Duthil est similaire, on assiste donc en deux décennies à une double évolution. En premier lieu, la part relative à la gestion du milieu physique de la production s'hypertrophie chez Duthil au détriment de la physiologie végétale et de la science du sol, pour finalement correspondre aux deux tiers du volume final, contre environ dix pour cent chez Demolon. En second lieu, un glissement s'opère, et c'est le raisonnement de l'action en agriculture qui devient la caractéristique de l'agronomie. Là où pour Demolon ce sont les conditions agricoles d'expression des phénomènes qui font l'agronomie, avec l'importance donnée au champ *versus* le laboratoire, pour Duthil l'accent est mis sur la manière de valoriser ces connaissances pour l'action.

Mais cette façon de présenter l'agronomie prête le flanc à la deuxième des critiques évoquées ci-dessus en introduction, celle de l'agricolisation : l'agronomie pourrait finalement n'être qu'une manière de pratiquer l'agriculture, en mobilisant les dernières connaissances scientifiques produites par les différentes sciences agronomiques. Bien que cette vision ait pu perdurer, elle a été rapidement complétée par une vision significativement différente, promue par Sebillotte. Dans son article de 1974 « Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome », ce dernier souhaite poser les bases d'une nouvelle agronomie. Ce faisant, il consacre une part importante de cet article fondateur à démontrer la différence entre agronomie et agriculture. Dans sa préface à *L'Agronomie aujourd'hui*, Sebillotte attribue à Hénin les prémices de cette réflexion : « Son immense mérite aura été de permettre le début d'une prise de conscience : l'agronomie n'est pas une agriculture "savante". Ses apports à l'agronomie, en particulier ses méthodes, furent considérables. » C'est toutefois Sebillotte lui-même qui ira plus loin, avec une volonté de théorisation permanente, et une capacité à imposer cette identification disciplinaire – dont le remplacement de la chaire d'agriculture à l'INA P-G par une chaire d'agronomie en est l'illustration emblématique.

Mais de quoi est donc constituée, dans les années 1970, l'agronomie de Sebillotte ? De manière très illustrative de l'évolution que nous venons d'évoquer, le premier des six documents polycopiés utilisés par Sebillotte pour son enseignement porte le titre *Agronomie et agriculture*. Le professeur décrit les questions que pose l'agriculture, et caractérise l'agronomie comme une des disciplines permettant de contribuer à traiter ces questions, avec la définition mentionnée ci-dessus[4]. Puis il décrit le programme de son enseignement, et distingue de manière fine : l'agronomie, l'application

4. Voir p. 26.

de l'agronomie à l'agriculture à travers l'étude des techniques culturales comme «prolongement de l'agronomie», l'étude des cultures sous leurs différents aspects, qu'il nomme «phytotechnie» et qui met un accent très prononcé sur la valorisation de la variabilité génétique au sein d'une espèce, et enfin l'étude de la liaison entre système de culture et système de production dans l'optique d'une analyse des décisions techniques sur une exploitation agricole. Dans cet ensemble, «l'agronomie proprement dite» (*sic*) traite du fonctionnement du peuplement végétal, de la connaissance du milieu nécessaire pour l'action de l'agriculteur ou de l'aménageur, et de l'étude des systèmes de culture et de la fertilité du milieu.

Prise dans son ensemble, la somme que représentent ces six polycopiés constitue clairement une marque d'autonomisation de la discipline. Mais elle reste en première approche ambivalente. En effet, tant la distinction d'avec l'agriculture que le centrage sur des connaissances spécifiques distinguant l'agronomie des autres sciences agronomiques sont des témoignages forts d'individualisation. En revanche, les subtilités sémantiques fines utilisées pour présenter un programme à l'étudiant entraînent un trouble quant au périmètre de l'agronomie. Est-ce uniquement «l'agronomie proprement dite», ou faut-il y adjoindre ses «prolongements», et ses applications, dont la phytotechnie? L'étude de la conduite de l'exploitation agricole, aspect totalement absent des manuels précédents, fait-elle partie de l'agronomie? En réalité, il faut constater que le vécu ici a rapidement débordé la classification académique. Le charisme de Sebillotte, le rassemblement de tous ces ingrédients dans un même ensemble pédagogique (dispensé par une chaire qualifiée justement de chaire d'agronomie) ont eu pour conséquence que c'est l'ensemble du contenu de l'enseignement qui a été considéré comme l'agronomie. Par rapport à Duthil, l'enrichissement porte à la fois sur l'augmentation du périmètre (temps long à travers la fertilité et les successions culturales, échelle de l'exploitation agricole) et sur le rapport à l'action, avec l'apparition de réflexions sur l'action de l'agriculteur, sur lesquelles nous reviendrons.

Une consolidation nécessaire

À la fin des années 1970, l'agronomie dispose ainsi d'une assise, construite lors des décennies précédentes. Et après la période marquée par ces deux jalons que sont les ouvrages de Duthil et Sebillotte, l'évolution de l'identification de la discipline se fera par une évolution des objets et des concepts, ou plus précisément de leur usage, deux dynamiques qui constitueront le contenu de la suite de ce chapitre. Le cheminement de l'agronomie n'a cependant pas été un long fleuve tranquille, et elle a pu être discutée, voire contestée dans ses fins et dans ses moyens. Dans un premier temps, le foisonnement des problématiques et fronts de science relevant de l'agronomie, l'augmentation des fréquentations d'autres disciplines, pouvaient faire craindre à un éclatement de la discipline (risque avéré dans le domaine de l'écophysiologie végétale, avec le développement d'un corpus propre), ou à une décomposition par manque de cohésion interne. Une des utilités sociales de la parution de *L'Agronomie aujourd'hui* dans les années 2000 fut bien de manifester la cohésion interne à la discipline, et ce faisant une crédibilité externe, en rassemblant l'agronomie, tout en démontrant son caractère dynamique, autour de ses deux centres de gravité originels, la compréhension du fonctionnement de l'agroécosystème et le raisonnement des actions menées sur cet agroécosystème.

Dans un second temps, après le milieu des années 2000, c'est cette fois-ci de l'extérieur qu'est venu le questionnement sur l'existence de l'agronomie, avec notamment l'émergence de l'agroécologie. Et ce de manière paradoxale puisque, comme cela avait déjà été le cas vingt ans plus tôt avec la Relance agronomique[5], les appels au « retour à l'agronomie » se sont multipliés, au sein de différentes arènes professionnelles, scientifiques et politiques, comme on le verra de manière plus détaillée dans la deuxième partie de cet ouvrage. Cette demande d'agronomie traduit une perception par des observateurs extérieurs qui constatent (ou croient constater) que d'autres disciplines, en particulier la génétique, les biotechnologies, la phytopharmacie ont pris le dessus dans le raisonnement des pratiques agricoles. Et cette sollicitation illustre le souhait de voir raisonner la conduite des cultures sur la base d'une compréhension plus complète du fonctionnement de l'agroécosystème – ce que représente justement l'agronomie. Mais en même temps qu'émergeait cette nouvelle demande de retour de l'agronomie, cette dernière a pu parfois être considérée comme dépassée, devant être remplacée par l'agroécologie. Cette vision méconnaît le caractère protéiforme de l'agroécologie (Wezel *et al.*, 2009; Doré et Bellon, 2019), qui est loin de n'être qu'une discipline scientifique dans laquelle se dissoudraient les autres. Elle méconnaît également l'évolution de l'agronomie, illustrée dans les pages qui suivent, qui a modifié au cours des dernières décennies ses objets et les enjeux auxquels elle contribue. Dans sa volonté réformatrice de l'agriculture et des rapports de la science à la société, la nécessaire agroécologie a bel et bien besoin entre autres d'un éventail de disciplines – dont l'agronomie.

En 2020, l'agronomie continue d'exister, surmontant les trois risques de dilution, d'agricolisation et de dissolution, dont son histoire est jalonnée. Son périmètre continue à évoluer, comme vont en témoigner les deux sections suivantes. Ces évolutions permanentes ne sont-elles pas à la fois à l'origine des résurgences de ces risques, mais aussi l'antidote pour s'en prémunir ?

⏩ Une révélation progressive des objets de l'agronomie

Les ouvrages évoqués dans la section précédente sont utiles pour illustrer l'évolution des objets auxquels l'agronomie s'est intéressée. Ils sont cependant assez rares. Et pour permettre une capture des apparitions, et des disparitions – par construction discrètes et difficilement repérables – du champ de l'agronomie, nous les compléterons par la suite avec d'autres écrits ou événements témoins. En cohérence avec les définitions actuelles de l'agronomie, nous considérons que les objets d'étude de la discipline sont soit des compartiments de l'écosystème, soit des actions menées par ceux qui interviennent dans les espaces cultivés. Les évolutions selon ces deux catégories d'objets suivent chacune leur propre dynamique, les deux trajectoires étant parfois très conjointes, parfois plus distantes. Leurs interactions sont dans certains cas fortes, sous forme d'impacts de certaines actions sur certains compartiments de l'écosystème, amenant à l'existence d'un troisième type d'objet caractérisant ces impacts (les processus responsables des phénomènes de pollution de l'environnement, comme la pollution nitrique des masses d'eau, en sont un bon exemple).

5. Dispositif national mis en place après les États généraux du développement agricole (1982) comprenant plusieurs opérations en faveur d'une meilleure prise en compte des savoirs agronomiques dans le développement et la formation agricole (chapitres 7 et 8).

Sur plusieurs décennies, on voit se dessiner nettement les transformations des objets de l'agronomie, nous amenant à distinguer ci-dessous cinq périodes. Bien entendu, ces limites entre périodes ne sont pas strictes, et les évolutions décrites correspondent à des périodes chevauchantes.

Vers une approche plus complète du champ cultivé

Repartons des *Principes d'agronomie* de Demolon comme d'une base : les titres des deux tomes, *Dynamique du sol* et *Croissance des végétaux cultivés*, donnent les deux principaux objets d'étude de l'agronomie à l'époque – où, on l'a vu ci-dessus, la discipline est beaucoup plus développée dans le registre de la compréhension du fonctionnement de l'agroécosystème que dans celui du raisonnement des actions. Le sol est examiné par Demolon « sous toutes ses coutures » : comme milieu physique, comme milieu chimique, et comme milieu biologique. L'approche privilégiée est extrêmement analytique : décomposition des mécanismes, isolement des phénomènes, travail expérimental en conditions contrôlées. Elle reflète le souci, exprimé par l'auteur dans son avant-propos, de rendre compte du caractère scientifique de la science des sols, capable de reposer sur l'établissement de lois générales, et sur son autonomie. Dans les trois dimensions physique, chimique et biologique, sont abordés des phénomènes qui sont encore aujourd'hui essentiels à la compréhension du fonctionnement des sols et à la prévision de leur comportement : dégradation et régénération de la structure, rétention de l'eau, dynamique des anions et des cations dans la solution du sol, caractérisation des communautés microbiennes telluriques, etc. La métrologie est inventive, qu'il s'agisse de mesurer – essentiellement au laboratoire – la porosité, la disponibilité des éléments minéraux ou encore les antagonismes entre populations microbiennes. Si on excepte les chapitres relatifs à la pédogenèse, cette analyse du sol est largement adimensionnelle. Certes, la lixiviation des éléments minéraux dans les eaux de drainage n'est pas complètement omise ; certes, la dynamique des éléments minéraux dans le sol est replacée dans des cycles à l'échelle de la biosphère dans son ensemble ; pour autant, c'est presque toujours le matériau sol plutôt que le sol en place qui est l'objet d'étude. Cette approche se heurte à deux difficultés : la variabilité naturelle des sols, liée à la pédogenèse, et la variabilité agricole, liée à la diversité des pratiques. La première est traitée généralement en faisant des catégories de sols (souvent déterminées par leurs textures) aux propriétés à peu près homogènes. La seconde fait l'objet de l'ébauche de développement agronomique voulu par Demolon, qui souhaite se rapprocher des situations agricoles, mais de manière encore très timide. Cette variabilité est parfois prise comme facteur d'expression des propriétés du sol, par exemple quand les différents traitements expérimentaux des essais de long terme menés dans l'expérimentation de Rothamsted en Angleterre permettent d'exprimer des lois de dynamique des éléments minéraux. Elle peut aussi être prise en compte dans l'expression des résultats de travaux expérimentaux, essentiellement sur la question de la fertilisation des cultures.

La fertilisation est par ailleurs le trait d'union principal entre les deux objets, le sol et la plante. En effet, les rapports du sol à la plante sont très majoritairement vus à travers le couple disponibilité en éléments minéraux-alimentation minérale de la plante, qui constitue à lui seul environ la moitié des deux tomes, et dans une moindre mesure à travers l'alimentation hydrique. Les impacts de la structure du sol sont peu analysés, et ceux de son fonctionnement microbiologique encore moins. Ces rapports sont vus de

manière indépendante, illustrant parfaitement le primat de l'analytique sur le systémique dans l'approche scientifique de Demolon. Ainsi, lorsqu'il évoque la notion de fertilité, il en reconnaît le caractère systémique (« Elle ne saurait être mesurée par les appareils dénommés "fertilimètres", car elle représente une fonction complexe de nombreuses variables dont la plupart ne sont, elles-mêmes, ni simples ni indépendantes »), mais il considère que « les recherches agronomiques ont précisément pour but de procéder à l'étude de chacun de ces facteurs considéré à l'état isolé et dont l'agriculteur n'observe que la résultante ». C'est de cette manière que la nutrition minérale et la fertilisation sont abordées. Comme pour l'effet des composantes climatiques sur la croissance et le développement des plantes, ces phénomènes sont le plus souvent analysés à l'échelle de la plante, plus rarement à l'échelle de la population, même si des recommandations de fumure à l'échelle de la culture sont esquissées. La littérature est alors abondante quant aux formes des éléments minéraux dans le sol, à la manière de les évaluer, à leur rapport à l'absorption et à la croissance des plantes, et Demolon en effectue la synthèse. Mais la fertilisation sur les trois éléments majeurs azote, phosphore et potassium (N, P et K) est raisonnée globalement, avec de longues interrogations quant à « l'équilibre » de la fumure (figure 1.1). Cette notion d'équilibre bute sur les grandes différences de dynamique de ces trois éléments minéraux dans le sol qui, alliées à la variabilité des

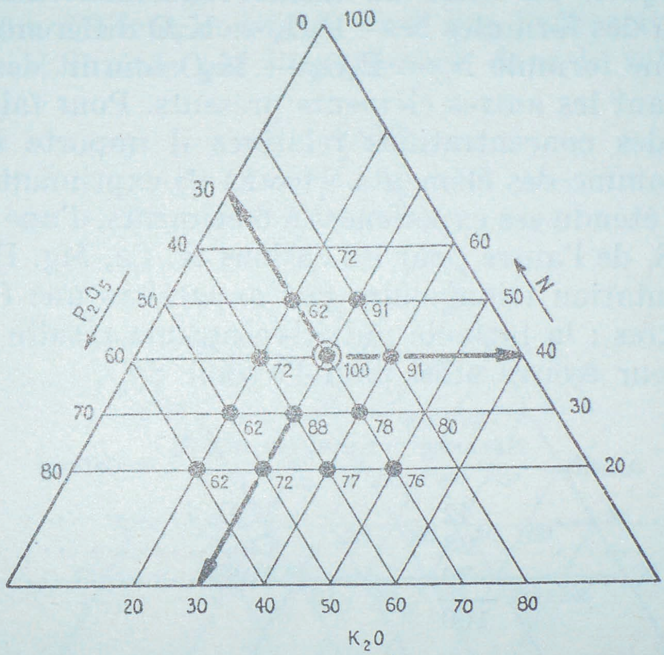


FIG. XIII-3. — Variation du rendement d'une culture d'avoine en vase pour quinze formules N. P. K. (N. CHARLIERS). Le total pondéral des trois éléments demeurant constant, formule optima 40 — 30 — 30 soit 1 — 0,75 — 0,75.

Figure 1.1. Illustration de la recherche d'équilibre dans la fertilisation minérale chez Demolon (extrait des *Principes d'agronomie*, tome II, 5[e] édition, p. 427).

situations culturales et pédologiques et à l'absence de moyens de mesure en routine de la disponibilité en éléments minéraux en parcelles agricoles, rendent difficile le raisonnement de la fertilisation. Ces lacunes débouchent, pour raisonner l'apport d'engrais, sur des suggestions de multiplication des essais de doses de fertilisation, alors même que sont déjà présentes, mais peu valorisées, des notions qui seront par la suite à la base du raisonnement de la fertilisation : prise en compte au plus près des fournitures du sol de manière dynamique, raisonnement adapté à la situation de la culture (ainsi, pour citer toujours Demolon, « il est donc nécessaire de toujours adapter étroitement la variété, la densité de semis et la dose d'azote »).

Sur cette base, au cours des années 1950 et 1960 s'effectue un double mouvement quant aux objets d'intérêt de l'agronomie. Le premier concerne le développement des travaux relatifs à l'approche physique du sol ; le deuxième, la diversification des approches des techniques agricoles.

Pendant les deux décennies qui séparent les dernières éditions de l'ouvrage de Demolon de la parution de celui de Duthil, l'approche physique du sol a peu à peu rejoint les approches chimiques, en particulier avec un effort marqué en recherche. La partie biologique reste, hormis dans l'analyse des devenirs des matières organiques des sols, la portion congrue ; l'intérêt pour les propriétés électriques des sols et son statut acido-basique a commencé à s'étioler. Pendant cette période, Stéphane Hénin marque de son empreinte les travaux des agronomes sur le sol, et les deux éditions (la première en 1960 avec Féodoroff, Gras et Monnier, la seconde en 1969 avec Gras et Monnier) de son ouvrage *Le Profil cultural* en sont le témoignage le plus marquant. Les sous-titres de ces deux éditions illustrent d'ailleurs le chemin réalisé en une décennie : le premier est *Principes de physique du sol*, le second *L'État physique du sol et ses conséquences agronomiques* (figure 1.2). Ainsi la trajectoire est-elle celle que Demolon appelait de



Figure 1.2. Couvertures des deux éditions du *Profil cultural* de Hénin *et al.* (1960 et 1969).

ses vœux : utiliser les connaissances en sciences du sol établies au laboratoire pour comprendre ce qui se passe en conditions agricoles, en établir les lois[6]. Et *Le Profil cultural* n'est pas qu'une somme de connaissances sur la physique des sols, c'est aussi – et c'est progressivement devenu d'abord – l'introduction à une méthode précisément baptisée « profil cultural » permettant de décrire l'état d'un sol en place (en parcelle expérimentale ou chez un agriculteur), de comprendre comment il a été obtenu, d'en prévoir les effets sur la culture, et enfin d'en envisager l'amélioration (chapitre 2). Une phrase de l'avant-propos de l'édition de 1969 résume bien le projet des auteurs : « En associant ainsi des principes et un certain nombre de faits concrets qui en résultent, nous espérons permettre à nos lecteurs de raisonner l'application des techniques et non pas de les utiliser comme des recettes. » Parallèlement, les travaux sur la structure des états de surface s'amplifient également. Ces deux thèmes liés à la physique du sol auront des prolongements particulièrement prononcés pendant les décennies suivantes, et constituent, au moins pour le premier, un thème agronomique toujours présent un demi-siècle plus tard.

Le Profil cultural constitue également une bonne illustration du deuxième mouvement évoqué ci-dessus : la diversification des opérations culturales considérées par les agronomes. En effet, de longs chapitres sont consacrés au travail du sol et au contrôle de l'eau dans le sol (en déficit comme en excès), alors que ces préoccupations étaient pratiquement absentes de l'ouvrage de Demolon. Le même constat est observé chez Duthil où, comme déjà mentionné, les parties relatives à la gestion des cultures ont donné lieu à deux volumes au lieu d'un seul planifié au départ ; et ce sont aussi les questions d'irrigation et de travail du sol qui sont venues s'adjoindre à celles, toujours très présentes, de fertilisation minérale et d'amendements organiques et minéraux. Cet accroissement des objets d'intérêt de l'agronome attire par contraste l'attention sur ce qui manque, à l'échelle de la conduite de la culture : le choix variétal et la gestion des ennemis des cultures, réduits à quelques lignes et quelques pages au sujet des rotations de culture, chez Hénin comme chez Duthil. On assiste effectivement à l'époque à une séparation explicite des champs d'intervention des différentes disciplines scientifiques concernées par l'amélioration des pratiques agricoles. Dans les années 1960, l'Inra publie ainsi toute une série de revues dénommées « *Annales* », parmi lesquelles *Les Annales agronomiques* traitent d'*agronomie générale et science du sol* (et de fait, aussi, de bioclimatologie), alors que les *Annales des épiphyties* traitent de *pathologie végétale, zoologie agricole, phytopharmacie*, et qu'il existe également des *Annales de l'amélioration des plantes*, ainsi que des *Annales de physiologie végétale*. Les *Annales agronomiques* pendant la décennie 1960-1969 traitent pour moitié environ de connaissances générales sur le fonctionnement du sol, l'autre moitié étant composée d'articles relatifs à des études de cas sur des sols particuliers, de connaissances sur les interfaces sol-atmosphère et sol-plante, et de considérations sur la gestion – surtout chimique – des sols. Et les autres *Annales* ? Celles des *épiphyties* sont pour la plupart consacrées à des monographies détaillées des agents pathogènes, insectes et adventices. On y trouve tous les traits de vie nécessaires (avec des connaissances limitées aux moyens de l'époque néanmoins)

6. Elle correspond aussi à la trajectoire personnelle de Hénin qui, après avoir succédé à Demolon à la direction du laboratoire des sols de l'Inra à Versailles en 1945, devient professeur d'agriculture générale à l'Institut national agronomique en 1959, puis va diriger le département d'Agronomie de l'Inra à partir de 1965.

pour développer des réflexions sur les liens entre les états du milieu cultivé et le développement des épidémies, clé d'entrée de la lutte préventive par adaptation des techniques culturales. Mais, même si dans la définition de l'agronomie donnée par Sebillotte en 1974 figure bien en note infrapaginale « par sol et par souci de simplification de l'exposé on entend non seulement le sol *stricto sensu*, mais également tout le milieu biologique qu'il supporte ou abrite et en particulier tous les parasites », le rendez-vous semble à cette époque encore largement manqué. Et ceci alors que les chercheurs du domaine de la protection des cultures ont bien conscience de l'importance des pratiques, comme en témoigne l'article de Rapilly de 1969 dans le *Bulletin technique d'information* du ministère de l'Agriculture, intitulé « Système de culture et évolution des maladies ». Les *Annales d'amélioration des plantes* sont quant à elles majoritairement consacrées à la biologie de la reproduction, aux ressources génétiques sur une grande diversité d'espèces, ainsi qu'aux méthodes de sélection. Mais on y trouve également, dans la comparaison de la croissance et du développement de plusieurs variétés d'une même espèce (Jonard sur le blé, Rebischung sur la luzerne, par exemple), des descriptions du fonctionnement du peuplement qui sont très similaires, dans leur approche, à celles que les agronomes vont développer dans les décennies suivantes, et sans doute sources d'inspiration pour ces derniers.

L'orientation marquée vers une agronomie pour l'action

Peuplement cultivé et exploitation agricole

C'est en prolongement des évolutions des années 1960 que se déploient les objets d'étude de l'agronomie de 1970 à la fin des années 1980, avec des « changements de rythme » plus ou moins accentués. Une façon d'illustrer de manière concrète l'évolution des objets de l'agronomie de 1970 à 1990 consiste à considérer les thèses en agronomie soutenues à l'INA P-G pendant la décennie des années 1980 (l'autorisation à délivrer le diplôme de docteur-ingénieur en sciences agronomiques, mention « sciences et techniques des productions végétales », ayant été acquise par cet établissement en 1975) (encadré 1.2).

Encadré 1.2. Thèses d'agronomie soutenues à l'INA P-G de 1980 à 1990

Les prairies permanentes du pays d'Auge. Approche phytosociologique, essai d'interprétation agronomique (D. Caullet, 1980)

L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver : influence de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière (J. Masle-Meynard, 1980)

Contribution à l'étude des relations sociales entre le blé d'hiver (*Triticum aestivum* L. Em. Thell.) et le ray-grass raide (*Lolium rigidum* Gaud.) : rôle des caractéristiques respectives de développement et de croissance des deux espèces (M.H. Saut, 1981)

Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique (H. Manichon, 1982a)

La betterave à sucre dans la basse vallée de la Mejderda : analyse de l'élaboration du rendement selon différents itinéraires techniques (K. Latiri-Souki, 1983)

La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action de la pluie (J. Boiffin, 1984)

Système de culture, système de production et statut organique de sols : essai de diagnostic sur les pratiques d'entretien organique dans une région agricole (J. Kéli, 1984)

L'analyse des composantes du rendement du maïs. Application à l'étude de la variabilité du rendement dans une petite région (H. Navarro-Garza, 1984)

Étude au champ de l'enracinement du maïs : influence de l'état structural sur la répartition des racines, conséquences sur l'alimentation hydrique (F. Tardieu, 1984)

Étude des pratiques de travail du sol dans les exploitations du Marais poitevin (S. Pellerin, 1984)

Comportement du sol sous l'action des façons de reprise d'un labour au printemps. Effet des conditions climatiques et de l'état structural (F. Papy, 1984)

Système de culture et élaboration du rendement du riz (*Oryza sativa* L.) en Camargue (C. Dürr, 1984)

La gestion territoriale des activités agricoles, l'exploitation et le village : deux échelles d'analyse en zone d'élevage (M. Benoît, 1985)

Alimentation azotée et élaboration du nombre de grains d'un peuplement d'orge d'hiver (*Hordeum hexastichum* L.) (D. Gbongue, 1985)

Modélisation de la croissance et de la production des siliques chez le colza d'hiver (*Brassica napus* L.) : application à l'interprétation de résultats de rendements (P. Leterme, 1985)

Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver (J.M. Meynard, 1985)

Contribution à l'étude des variations saisonnières de la production prairiale : influence des modalités d'apport de l'azote et du mode d'exploitation au printemps sur la croissance estivale de peuplements de graminées fourragères (A. Denoix, 1986)

Effets des systèmes de culture sur la flore adventice dicotylédone annuelle : intérêt de la modélisation pour l'étude de l'évolution à long terme du stock de graines de l'horizon travaillé (P. Debaeke, 1987)

Modélisation de la production de luzerne et alimentation hydrique (J.L. Durand, 1987)

Nitrates du sol et de la plante : des indicateurs pour la conduite de la fertilisation du blé (J. Gonzalez, 1987)

Croissance et élaboration du rendement de l'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr) (E. Malézieux, 1988)

La germination des semences de betterave sucrière (*Beta vulgaris* L.) en conditions d'hypoxie : modélisation, contribution à un diagnostic au champ (G. Richard, 1988)

Des approfondissements substantiels viennent enrichir les connaissances sur les dimensions physiques et chimiques du sol, en continuité de l'existant. Mais le corpus de connaissances de l'agronomie s'enrichit aussi sur deux objets qui n'avaient été, comparativement aux précédents, qu'esquissés avant 1970 : le peuplement cultivé et l'exploitation agricole.

L'intérêt pour ces objets est tiré par le même enjeu que les deux mouvements décrits ci-dessus lors de la période précédente : l'approche scientifique du rendement des cultures et de la rentabilité de l'activité agricole. Les analyses relatives au rendement closent le deuxième tome de l'ouvrage de Demolon, comme une perspective

pour l'agronomie; elles ouvrent au contraire *Le Profil cultural*, presque devenues la raison d'être de l'agronomie. Dans les deux cas, elles sont étroitement associées à la notion de fertilité. Peu à peu, la volonté de comprendre l'impact des caractéristiques du sol en interaction avec le climat sur le potentiel de production en parcelle agricole, celle de comprendre l'origine de la grande variabilité des rendements obtenus sur ces parcelles, celle enfin de pouvoir agir pour améliorer rendement, fertilité et rentabilité, amènent à porter un regard nouveau sur la plante. On quitte ainsi l'analyse en laboratoire sur plante isolée pour s'intéresser à la plante en peuplement; on suit l'élaboration de la croissance et de son rapport au rendement, avec des méthodes qui, comme déjà évoqué, s'inspirent de celles suivies pour caractériser des génotypes différents en amélioration des plantes; enfin on entreprend, par des observations en parcelle agricole autant que dans des essais de fertilisation (encore très présents), d'identifier les variations de densité et de croissance du peuplement au cours de la durée de vie d'une culture. Il ne fait pas de doute que l'analyse du comportement des cultures faisait partie du quotidien des praticiens de l'agriculture; la différence vient ici de la volonté d'en avoir une approche scientifique, nourrie par les connaissances physiologiques et de sciences du sol. On assiste ainsi à partir des années 1970 à une amplification brutale de ces travaux, qui déboucheront sur ce qu'on a appelé «l'écophysiologie». Parallèlement, des approfondissements ont également lieu en ce qui concerne le raisonnement des techniques (fertilisation, mais aussi de manière importante travail du sol, entretien humique des parcelles, choix du couple date × densité de semis pour les cultures annuelles, en relation notamment avec les travaux sur le fonctionnement des couverts).

Bien que portant sur un objet très différent, l'analyse de l'exploitation agricole relève d'une même préoccupation générale, celle de la productivité et de la rentabilité de l'activité agricole. Cette préoccupation est presque implicite dès l'après-guerre, tant elle est évidente : l'objectif est de maximiser les rendements et de préserver une profitabilité financière pour les agriculteurs. Quelques considérations sur la qualité des récoltes viennent s'ajouter à la préoccupation de la productivité. Dans ce contexte, la réémergence de l'exploitation agricole comme un objet d'étude pour les agronomes se produit dans les années 1960 dans le cadre d'interactions avec les économistes, et grâce à la facilitation des moyens de calcul : agronomes et économistes se retrouvent autour d'un objet, l'assolement, que l'on cherche à optimiser grâce à la technique statistique qu'est la programmation linéaire. Très vite les questions posées vont se complexifier, avec la prise en compte des effets différés dans le temps des choix des cultures, impliquant des choix conjoints d'assolement et de rotation, ou encore avec les interrogations sur le temps de travail et donc l'organisation de l'exploitation agricole. Ces approches, qui restaient très sectorielles dans les années 1960, étaient les signes avant-coureurs des travaux des agronomes relatifs au fonctionnement des exploitations agricoles menés des années 1970 au milieu des années 1990. La rupture à ce moment a été de prendre les exploitations agricoles comme objet d'étude en soi, permettant d'éclairer les choix techniques des agriculteurs.

De la prise en compte des conditions agricoles à l'analyse des pratiques

Tous ces enrichissements sont à la fois accompagnés et probablement pilotés par un déplacement sensible du centre de gravité des objets de l'agronomie : il était encore nettement positionné du côté de l'expérimentation en conditions contrôlées et, sans en

faire une exclusivité, un déplacement s'effectue vers les conditions agricoles, dans une perspective d'utilité pour l'action, avec trois corollaires essentiels pour l'agronomie :

– le champ cultivé s'appréhende physiquement comme un ensemble, un objet dont l'analyse de chaque compartiment est insuffisante pour comprendre à la fois le devenir des cultures et les raisonnements des agriculteurs, ce qui implique le développement d'une approche systémique de cet objet caractérisé par les relations climat-sol-plante – ce qui était un peu paradoxalement qualifié d'écologie par Duthil, mais dont l'évocation devient chez Sebillotte une sorte de mantra de la réflexion agronomique ;

– la diversité des parcelles – et des exploitations – devient un sujet d'intérêt et d'exploration en soi. Il s'agit à la fois de comprendre l'origine de cette diversité, en particulier par des diagnostics appropriés ; d'en estimer les conséquences en termes de production ; et d'en tenir compte dans les métiers – en particulier ceux du conseil agricole – qui y sont confrontés ;

– le raisonnement des activités agricoles est appréhendé de manière scientifique, avec deux innovations importantes : d'une part on cherche à s'approcher de la manière dont l'agriculteur raisonne, et d'autre part on incorpore dans l'approche du raisonnement ce que les connaissances produites sur le fonctionnement de la parcelle agricole font émerger comme interactions entre choix techniques, dues aux relations climat-sol-plante.

Ce dernier corollaire est sans doute celui qui témoigne de la plus forte rupture par rapport aux périodes précédentes, et qui projette le plus l'agronomie dans sa double dimension scientifique et technique. Il consiste à prendre comme objet non pas le raisonnement des techniques (déjà largement existant), mais le raisonnement des pratiques, c'est-à-dire des techniques mises en œuvre par les agriculteurs.

Si l'on souhaitait une date marquante au sujet de l'émergence de cet objet, il faudrait en réalité en retenir deux : l'article de Sebillotte de 1974 sur « Agronomie et agriculture » d'une part, et la création du département Systèmes agraires et développement (SAD) de l'Inra en 1979 d'autre part. Le premier est un témoignage disciplinaire, et pour ainsi dire personnel au sens où il affirme un point de vue individuel ; le second l'inscrit dans un mouvement pluridisciplinaire plus large. En 1974, Sebillotte identifie deux objectifs de travail pour l'agronome : « Une part de son activité vise l'accroissement des connaissances sur les mécanismes de fonctionnement de l'ensemble peuplement végétal et milieu soumis à l'action de l'homme, et une autre part est directement au service de l'agriculture. » C'est cette seconde part qui va être la toile de fond des recherches sur les pratiques agricoles, avec une hypothèse fondamentale – qui aurait pu ne pas exister – réexprimée par Sebillotte de manière synthétique en 2006 dans *L'Agronomie aujourd'hui* : « L'agronome a pour ambition de voir les connaissances qu'il produit utilisées par l'agriculteur. Or, il constate rapidement que celui-ci ne raisonne pas comme lui, qu'il a sa propre rationalité [...]. Les agronomes ne peuvent traiter d'irrationnel, *a priori*, ce qu'ils ne comprennent pas. L'agriculteur cultivant sa parcelle est devenu le deuxième objet de l'agronome. » L'orientation vers une agronomie « au service » devient possible dès lors que se construisent les connaissances sur ce deuxième objet. Dans ce champ d'intervention de l'agronomie, la fertilisation – et singulièrement la fertilisation azotée – a joué un rôle pionnier et pivot. On se souvient qu'elle était l'élément de conduite des cultures déjà présent chez Demolon, avec un raisonnement fondé sur une compréhension des relations entre sol et plante ; c'est autour d'elle que s'est exercée ensuite la capacité des agronomes à passer de la

description à la prescription, grâce à un travail sur les besoins de référence pour les agriculteurs, venant compléter la compréhension du fonctionnement des cultures au champ en conditions de disponibilité minérale variables; c'est enfin autour d'elle que la construction des itinéraires techniques s'est ultérieurement largement bâtie.

Le département SAD de l'Inra a ensuite joué un rôle majeur dans la montée en puissance du raisonnement des pratiques des agriculteurs comme objet de l'agronomie. Son propos principal, exprimé par Vissac et Hentgen (1979) lors de l'assemblée constitutive du département, était englobant par rapport à cet objet : « L'approche du Département [...] consistera d'abord à analyser le fonctionnement des exploitations, du système agricole régional, à en dégager les atouts et les contraintes écologiques et socio-économiques. Il en découlera des propositions de systèmes globaux et la nécessité d'expérimentations plus synthétiques [...]. Cette démarche se situe dans le cadre de la mise au point d'une méthode d'élaboration de références techniques utiles au développement, méthode équilibrant la voie descendante de transfert de l'innovation par une voie montante partant d'analyses de systèmes en situation. » L'exploitation agricole – et non le raisonnement des pratiques – en constituait donc l'objet essentiel. Mais le département SAD fournissait un lieu propice au développement de ce que Sebillotte appelait de ses vœux, à travers trois de ses propriétés : la possibilité organisée de confrontations de points de vue sur un même objet – le département était largement fondé sur des équipes investies dans des analyses ayant été soutenues par la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST) du ministère en charge de la Recherche dans plusieurs régions françaises dont l'Aveyron, les Vosges, le Noyonnais –; l'explicitation de la nécessité de forger des démarches scientifiques originales pour l'aide au développement; et, surtout, le cadre institutionnel permettant la reconnaissance et la stimulation de recherches pluridisciplinaires. Ce dernier point est essentiel, car l'objet que constitue le raisonnement des pratiques allait se déployer dans les années 1980 et 1990 comme un objet pluridisciplinaire partagé entre l'agronomie et les sciences animales d'une part, et les sciences économiques et sociales (en particulier gestion et ergonomie) d'autre part, sans lesquelles cet objet n'aurait pas eu le même avenir. Deux ouvrages illustrent ce premier âge des productions du département SAD de l'Inra en agronomie : *Fertilité et systèmes de production* (Sebillotte, 1989) et *Le Fait technique en agronomie* (Gras *et al.*, 1989)[7].

Comme en témoigne l'ouvrage *Modélisation systémique et système agraire* (Brossier *et al.*, 1990), cet objet agronomique qu'est le raisonnement des pratiques des agriculteurs s'est ensuite ramifié dans plusieurs directions, cognitive d'une part (le concept de modèle d'action de l'agriculteur en étant le témoignage le plus emblématique) et instrumentale d'autre part. Sur ce dernier plan, les instruments ont d'abord été à destination de l'aide à la décision des agriculteurs, avec la production des « indicateurs » et des « outils d'aide à la décision » fortement appuyés sur les progrès de la modélisation et de l'informatique, comme on en trouve de nombreux exemples en particulier en conditions tropicales dans les ouvrages *La Conduite du champ cultivé : points de vue*

7. On appréhendera bien la transformation systémique de l'agronomie à ce moment en prenant en considération que la décennie 1980 est aussi celle de la mise en place de la Relance agronomique, vaste opération de formation de conseillers agricoles et d'enseignants du système d'enseignement technique agricole. Cette formation obligeait, dans une certaine mesure, les agronomes, en les forçant à démontrer l'opérationnalité de leur discipline dont ils la disaient parée pour transformer l'agriculture; simultanément, la mission professionnelle longue incluse dans la formation était un lieu exceptionnel pour mettre à l'épreuve, en situation réelle, les résultats de la recherche agronomique (chapitre 7).

d'agronomes (Biarnès, 1998) et *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision* (Malézieux *et al.*, 2001). Dans un second temps, cette instrumentation s'élargira dans les années 2000 et 2010 à l'aide à la décision publique, ainsi qu'à l'aide pour mener des activités de conseil auprès des agriculteurs (chapitre 2).

Au-delà de la parcelle et de l'exploitation agricole, l'environnement et la qualité des produits

C'est dans les années 1980 que s'amorcent plusieurs évolutions, qui s'épanouiront par la suite à partir de deux moteurs principaux liés à des enjeux économiques et sociaux, d'une manière qui sera détaillée dans la deuxième partie de l'ouvrage. Il s'agit d'être capable de prendre en considération d'une part les interactions entre agriculture et environnement, et d'autre part de manière plus fine la qualité des produits agricoles, qui devient un déterminant important de leur valeur.

La prise en compte des enjeux environnementaux liés à l'activité agricole a été un formidable ferment pour faire évoluer les objets de l'agronomie. Dès 1974 dans le *Bulletin technique d'information*, Hébert, alors directeur de la station agronomique de l'Aisne, publie un article intitulé « Recommandations aux agriculteurs pour limiter l'enrichissement des nappes d'eau en éléments fertilisants ». Et au même moment d'autres agronomes (Chrétien *et al.*, 1974) mettent en rapport la fertilisation azotée et l'augmentation des teneurs en nitrate dans les eaux dans le département de l'Yonne. Il est néanmoins raisonnable, malgré ces précurseurs, de reconnaître que les questions environnementales ne sont pas centrales dans le projet de l'agronomie avant 1990, et qu'avant 1980 elles sont souvent collatérales. Ainsi, quand Deffontaines dès 1968 écrit à propos de l'érosion (dans l'article « Essai d'appréciation du danger d'érosion dans les vergers en fortes pentes en moyen Vivarais », qui ouvre l'ouvrage *Les Sentiers d'un géoagronome*, Collectif, 1998b), il le fait avec en filigrane une problématique de potentialité parcellaire, dans une optique de développement et non de nuisance environnementale. En 1977, le livre *Pays, paysans, paysages dans les Vosges du Sud* (Collectif, 1977), fortement influencé notamment par deux agronomes, Deffontaines et Osty, est de ce point de vue typique d'un travail qui n'a trouvé écho dans la communauté des agronomes que plus d'une décennie après sa première édition. L'environnement n'est petit à petit apparu plus visiblement dans les préoccupations de la discipline en France que dans les années 1980. La contribution initiatrice généralement retenue est connue sous le vocable « rapport Hénin », dont le titre est *Activités agricoles et qualité des eaux* (Hénin, 1980a), rapport pour la rédaction duquel Hénin mobilise l'ensemble du département d'Agronomie de l'Inra. Les indices discrets mais concrets de cette montée en puissance progressive du thème de l'environnement ne manquent ensuite pas : les travaux de nombreuses équipes de l'Inra (en particulier à Laon et à Colmar) sur la dynamique des éléments minéraux ; ceux menés sur la qualité de l'eau par l'Inra à Vittel ; la thèse de Meynard (1985) sur les itinéraires techniques du blé à bas niveau d'intrant ; les travaux de Boiffin et Papy sur l'érosion (Boiffin *et al.*, 1988 ; Papy et Boiffin, 1988) ; l'article de Meynard et Girardin « Produire autrement » (1991), celui de Sebillotte et Meynard dans l'ouvrage *Nitrate agriculture eau* (1990), qui sera central pour les raisonnements menés dans les opérations Ferti-Mieux qui ont marqué la décennie 1990… Néanmoins, en 1990, lors du congrès inaugural de l'European Society for Agronomy

réuni à Paris, moins de 5 % des communications françaises portent sur une problématique environnementale – mais ce n'est pas une exception hexagonale, le constat vaut pour l'ensemble des contributions.

Cette préoccupation environnementale, finalement installée, va élargir les objets de l'agronomie dans les années 1990 et 2000 surtout de deux manières. La première est l'introduction de nouvelles « variables de sortie » des processus en cause dans les relations climat-sol-plante, concernant des compartiments de l'écosystème externe à la parcelle cultivée, amenant à la fois à revisiter ces processus et à contribuer à un raisonnement des pratiques agricoles qui tienne compte de ces variables de sortie. Un exemple typique – et celui qui fut le plus traité dans les années 1990 – concerne la dynamique de l'azote dans les sols agricoles, avec l'adjonction successivement, comme variables d'intérêt, de la teneur en nitrate de la lame d'eau drainée puis de l'émission de protoxyde d'azote. Cette introduction de préoccupations nouvelles nécessite de reprendre de manière plus fine l'analyse des processus, en particulier de minéralisation et d'organisation. Elle amène aussi à rénover non seulement le raisonnement de la fertilisation azotée, mais aussi celui de toutes les pratiques jouant sur les flux d'azote dans la parcelle, notamment la gestion de l'interculture qui devient un objet d'intérêt, ou encore le raisonnement plus fin des amendements organiques. Le second élargissement consiste à introduire l'espace dans les objets de l'agronome. On se souvient que l'aménagement du territoire figurait dans la définition de l'agronomie par Hénin en 1971, et les agronomes s'étaient intéressés à des échelles supraparcellaires depuis les années 1970, mais de manière relativement timide, ou confinée. Ainsi, le « géoagronome » qu'était Deffontaines s'est tôt intéressé à des dimensions paysagères. Il l'a initialement fait néanmoins à l'origine comme un analyste de l'espace plutôt que dans une visée gestionnaire : comme l'indique le titre d'un de ses articles, il chemine « du paysage comme moyen de connaissance de l'activité agricole à l'activité agricole comme moyen de production du paysage ». Parallèlement, d'autres agronomes se sont intéressés aux questions de gestion de sole, notamment à travers les questions de transferts de fertilité spatialisés en agriculture tropicale. Cependant, il est probable que c'est bien la pression des questions environnementales – et, comme on le verra ci-après, celles relatives à la qualité – qui a amené les agronomes à considérer de manière plus centrale des objets à une autre échelle que la parcelle. Ils l'ont fait d'abord du point de vue physique, à travers les échanges de matière entre parcelles, l'exemple emblématique en étant les travaux sur le ruissellement et l'érosion développés à partir de la fin des années 1980. Puis plus tard ils ont intégré les composantes biologiques – flux de gènes, gestion spatialisée des adventices, gestion de la durabilité des résistances variétales aux maladies, dimensions paysagères de la gestion des bioagresseurs. Dans l'ouvrage *Agricultures et territoires*, paru en 2005 sous la direction de Laurent et Thinon, les agronomes signent ainsi un bon tiers des contributions ; et dans *Agronomes et territoires*, paru la même année sous celle de Prévost (2005), ils trouvent sans difficulté leur place face aux géographes, économistes et ethnologues.

La montée de la préoccupation relative à la qualité des productions agricoles est concomitante de celle relative à l'environnement, mais s'affiche de manière plus discrète ; probablement en raison d'une moindre résonance à l'époque dans la société, mais aussi d'un capital moindre de connaissances agronomiques permettant d'aborder ce nouveau champ. Cette préoccupation était présente en permanence

chez les agronomes, mais plutôt en « basse continue » : elle l'est dans les volumes cités ci-dessus, chez Demolon, chez Duthil, chez Sebillotte, mais sans que des développements importants lui soient consacrés. Elle y est essentiellement traitée du point de vue de la nutrition minérale et de la fertilisation azotée, et d'une manière plus générale par les rapports de la plante au sol dans la programmation de la recherche du département d'Agronomie en 1971 (Maquart *et al.*, 1971), renvoyant pour le reste explicitement ou implicitement l'amélioration de la qualité au progrès génétique. Dans les années 1990, les évolutions des objets d'étude de l'agronomie liées à cette préoccupation vont pour une part rejoindre celles liées à la préoccupation environnementale. Considérer la qualité comme s'élaborant non seulement au champ, mais aussi au sein des filières de production végétale (comme l'évoque le titre d'un chapitre dédié à cette question dans *L'Agronomie aujourd'hui*), amène en effet les agronomes à considérer non plus la qualité des produits en sortie du champ, mais aussi au niveau de l'organisme stockeur ou du transformateur (qui, eux, ont toujours eu des préoccupations relatives à la qualité des produits). Cela entraîne d'une part l'apparition de nouveaux critères de qualité, et d'autre part la prise en considération de la construction de la qualité à l'échelle d'un bassin de collecte – ce qui est une autre manière d'appréhender la question du territoire en agronomie. De manière coïncidente, c'est aussi dans les années 1990 que l'écophysiologie s'affirme comme une nouvelle manière de considérer le fonctionnement du peuplement végétal, davantage finalisée par la compréhension intégrée de grandes fonctions (l'alimentation hydrique, l'alimentation azotée, la régulation du nombre d'organes), mobilisant les connaissances de physiologie végétale, que par l'élaboration du rendement. Cette évolution permet le développement d'une « écophysiologie de la qualité », qui mobilise les nouvelles possibilités métrologiques et de modélisation pour produire des connaissances sur l'impact combiné du milieu, de la conduite culturale et du génotype sur la croissance des organes et leurs teneurs en composés d'intérêt, ou à l'inverse indésirables.

La prise en compte des composantes biologiques de l'agroécosystème

Dans les années 2000, la représentation conceptuelle du champ cultivé, et plus globalement de l'agroécosystème comme objet de l'agronomie, va très significativement s'enrichir. À l'échelle de la parcelle comme à celle du territoire, l'intégration de la composante biologique dans sa diversité constitue une évolution fondamentale. Le système « champ cultivé » des agronomes a été de fait, pendant plusieurs décennies, un système tronqué. Il était défini par le triptyque climat-sol-plante ; on admettait bien sûr dans le sol une certaine vie, puisque la matière organique y jouait un rôle important – mais c'est à peu près là que s'arrêtait la prise en compte de la composante biologique dans l'agroécosystème, hors bien sûr l'espèce omniprésente qu'est l'espèce cultivée, et à l'exception des communautés d'adventices. Ces dernières ont en effet toujours été considérées par les agronomes, comme en attestent notamment les thèses des années 1980 citées ci-dessus – c'était même, sporadiquement, l'un des rares points de jonction entre l'agronomie et la protection des cultures dès les années 1960. Et c'est d'ailleurs encore à travers les adventices que les liens entre l'agronomie et les disciplines concourant à la protection des cultures se sont resserrés dans les années 1990, avec la création d'une unité Inra Malherbologie et agronomie à Dijon. En revanche, les agents pathogènes responsables

des maladies, les insectes et autres communautés responsables de dégâts aux cultures n'étaient pratiquement pas présents dans le champ de l'agronomie, avant quelques apparitions clairsemées dans les années 1990. Au début des années 2000, concomitante de la pression sociétale commençant à s'accentuer sur l'usage des pesticides en agriculture, une réflexion commune et structurée s'est installée entre agronomes, pathologistes et améliorateurs des plantes pour déboucher sur une approche partagée et interdisciplinaire de la protection des cultures (voir par exemple l'article de Meynard *et al.*, 2003), avant de s'élargir aux autres espèces responsables de dégâts. Par effet d'entraînement, l'agronomie a alors définitivement fait entrer dans ses objets la protection des cultures, qui n'était jusqu'alors que timidement présente dans les travaux relatifs aux itinéraires techniques et aux systèmes de culture, les dégâts sanitaires étant envisagés davantage comme un risque à évaluer lors de changements de pratiques que comme un objet à investir en soi. Un témoin majeur de cette appropriation est la participation forte d'agronomes à l'expertise scientifique collective menée en 2005 par l'Inra et le Cemagref, à la demande des ministères français en charge de l'Agriculture et de l'Environnement, qui a permis de dresser un état des lieux des connaissances sur lesquelles pourraient se fonder des actions visant à réduire le niveau actuel d'utilisation des pesticides et leurs impacts environnementaux (Aubertot *et al.*, 2005). Ces évolutions ont également amené à introduire dans l'agroécosystème, à l'échelle du territoire, les éléments non cultivés. À l'exception des aménagements ayant un effet sur le ruissellement et l'érosion, et de ceux permettant la protection des cours d'eau (bandes enherbées), l'espace sur lequel raisonnaient les agronomes était en effet presque exclusivement composé d'un assemblage de parcelles agricoles. Les dynamiques des communautés hébergées dans les parcelles agricoles étant fonction des habitats et ressources également présents dans les zones non agricoles (bois, talus, haies, bordures, etc.), il devint nécessaire de procéder à cette seconde complexification de l'objet agroécosystème, en les y incorporant sous le nom fréquemment utilisé d'« infrastructure écologique ».

Enfin, deux moteurs ont amené les agronomes à poursuivre cet enrichissement, amenant à compléter leur vision de l'agroécosystème (figure 1.3), en y incluant également les communautés telluriques et aériennes non pathogènes. D'une part, le premier de ces moteurs découle directement de l'intérêt pour la protection des cultures évoqué ci-dessus. En effet, la prise en compte des connaissances en écologie relatives aux relations entre proie et prédateur, et plus généralement aux dynamiques des communautés, a nécessité de s'intéresser aux auxiliaires, c'est-à-dire aux agents non pathogènes responsables des régulations des populations d'agents pathogènes dans les cultures. D'autre part, la diversification des pratiques de travail du sol a rendu nécessaire de s'intéresser aux bénéfices que la macrofaune pouvait apporter pour améliorer la structure du sol – et aux effets des pratiques sur cette macrofaune. L'ensemble de ces évolutions a amené à des collaborations beaucoup plus étroites entre agronomes et écologues : l'intersection entre leurs champs scientifiques se limitait antérieurement à l'écologie fonctionnelle, elle s'est élargie à l'écologie des populations et communautés, et plus généralement à tout ce qui peut favoriser les régulations biologiques dans les agroécosystèmes (voir notamment l'article de Médiène *et al.*, 2011). Enfin, au cours de la dernière décennie, les progrès qui ont été réalisés dans les méthodes de caractérisation des microorganismes du sol laissent entrevoir des capacités nouvelles d'intégration de ces communautés dans l'appréhension du fonctionnement de l'agroécosystème, et dans la conduite des cultures avec diverses finalités.

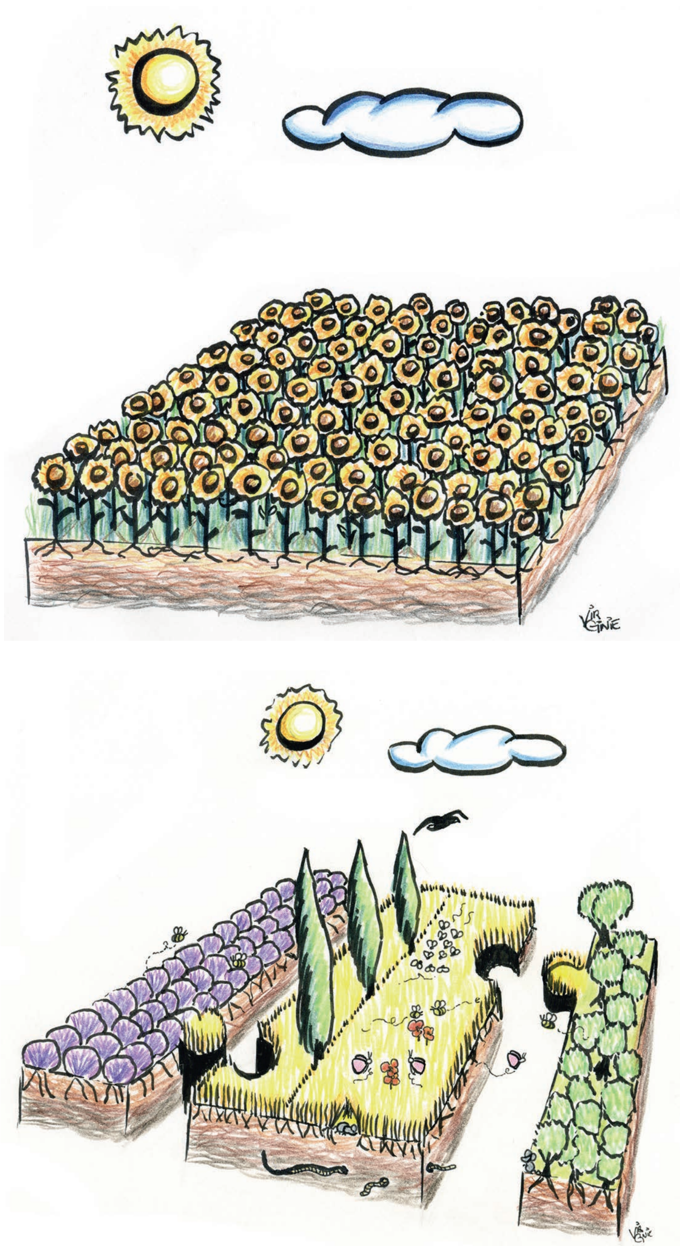


Figure 1.3. De haut en bas, évolution des représentations de l'agroécosystème chez les agronomes (d'après Doré, 2011, dessins de V. Lelièvre).

En même temps que cette nouvelle vision de l'agroécosystème par les agronomes, et de manière très articulée avec elle, l'agronomie a fortement réinvesti l'objet « système de culture ». Ce regain d'intérêt a amené à revoir les méthodes de conception et d'évaluation des systèmes de culture, ce qui sera développé dans le chapitre 2. Sans qu'elle lui soit tout à fait inféodée, cette évolution n'est pas sans lien avec la prise en considération

de la multifonctionnalité de l'agriculture dans les années 1990, puis avec l'importance prise par le concept de service écosystémique dans les années 2000. En effet, la prise en compte des objectifs de différentes parties prenantes vis-à-vis de la construction et de l'évaluation des systèmes de culture et de leurs assemblages devient un impératif. Cela peut toucher une partie seulement des pratiques – par exemple les multiples formes de simplification du travail du sol, ou encore les mélanges d'espèces. Mais cela peut toucher aussi la conception globale des systèmes, souvent caractérisés par des ensembles de règles relativement strictes, ou des conditions particulières, extrémisant les conditions de conduite – différentes formes d'agriculture urbaine, agriculture biologique, agroforesterie, permaculture, etc. Ces systèmes constituent sinon de nouveaux objets, tout au moins de nouvelles déclinaisons d'intérêt d'objets anciens, renouvelant dans le même temps les connaissances à produire. Par exemple, l'apparition de couverts hétérogènes interroge à la fois le fonctionnement des peuplements, leur gestion et leurs interactions avec l'environnement; l'apparition de nouveaux substrats en agriculture urbaine pose des questions nouvelles de dynamique des éléments dans le continuum sol-plante-atmosphère; la question des valeurs (par exemple l'importance pour certains agriculteurs du plaisir au travail, de l'esthétique, ou encore de l'équité, voir notamment les travaux de Morel, 2016) émerge dans la compréhension du fonctionnement des exploitations et des décisions des agriculteurs, ce qui modifie la manière de finaliser l'action.

D'autres extensions en devenir

Enfin, d'autres mouvements touchent l'agronomie depuis la fin des années 2000, mais il est sans doute trop tôt pour évaluer en quoi ils changent les objets de l'agronomie. Les mouvements à visée programmatique évoqués en 2010 par Doré ne se sont dans les faits pas tous traduits par des évolutions visibles. Ainsi, la nouvelle alliance à viser avec la biologie végétale, dont l'agronomie s'est excessivement séparée au cours des dernières décennies, semble ne pas réussir à dépasser les travaux menés en commun en écophysiologie. En revanche, l'« agronomie globale », c'est-à-dire celle qui s'intéresse à l'agroécosystème comme responsable de phénomènes qui prennent leur sens à une échelle globale, a fait l'objet de davantage d'attention. Elle relie l'agronomie à des problématiques comme la sécurité alimentaire, l'usage des sols sous changements globaux, la prévention et la maîtrise des espèces invasives, etc. Les changements climatiques, d'abord avec l'appréhension de leur impact sur la production végétale (dont le marqueur le plus visible dans le champ de l'agronomie dans les années 2000 est le projet Climator, popularisé par la publication du *Livre vert;* Brisson et Levrault, 2010), puis avec l'adaptation et la contribution de l'agriculture à leur atténuation, sont sans aucun doute le moteur le plus important de cette évolution. Si le renouvellement méthodologique que ce nouveau changement d'échelle implique est d'ores et déjà bien visible (voir Makowski *et al.*, 2014), le renouvellement des objets n'est pas encore complètement clarifié, non plus que le nécessaire renouvellement des alliances disciplinaires. Par ailleurs, la numérisation promise de l'agriculture va-t-elle également être source de renouvellement des objets de l'agronomie ? Pour illustrer les préoccupations récentes des agronomes, potentiellement source de renouvellement de leurs objets, le tableau 1.2 présente les sujets qu'ils ont traités dans les manifestations organisées par l'Association française d'agronomie au cours des dix dernières années.

Tableau 1.2. Intitulés des débats organisés dans le cadre des assemblées générales de l'Association française d'agronomie et des *Entretiens du Pradel* de 2009 à 2019.

2009	Grenelle de l'environnement et agriculture
2010	Agronomie et défi alimentaire
2011	PAC 2013 : implication de et pour l'agronomie Défi alimentaire et agronomie
2012	Agronomie et agroécologie
2013	Variétés et systèmes de culture : quelle coévolution ? Quelles implications pour l'agronomie et la génétique ? Des politiques publiques à l'efficacité économique des entreprises agricoles : quelles synergies entre agronomie et économie ?
2014	Stratégies d'adaptations de l'agriculture aux aléas et changements climatiques : apports de l'agronomie
2015	Regards d'agronomes sur les relations entre agriculture et ressources naturelles Savoirs agronomiques et développement agricole
2016	Besoins nutritionnels et enjeux agronomiques
2017	Agronomie et révolution numérique Agronomie et design territorial
2018	Nouveaux raisonnements de la fertilisation azotée
2019	Méthanisation et agriculture Quel « théâtre d'agriculture et ménage des champs » aujourd'hui ?

⏩ Les concepts de l'agronomie

Par concept, on entendra ici l'idée – notion abstraite donc – utilisée pour représenter les caractéristiques générales des objets – concrets – de l'agronomie, et permettant « d'en organiser les connaissances », selon la définition du Larousse[8]. L'originalité est un des critères de reconnaissance disciplinaire. Les objets de l'agronomie pouvant être partagés avec d'autres disciplines – avec par exemple la science du sol, l'écologie ou encore la gestion –, l'identification de concepts originaux liés à ces objets est un marqueur important pour distinguer la discipline. Quelles évolutions des concepts de la discipline ont permis de soutenir les changements – et permanences – d'objets ? Les objets de l'agronomie étant très nombreux, tant en ce qui concerne le système biophysique que le système d'actions (que la discipline embrasse simultanément), balayant une large gamme d'échelles spatiales et de niveaux d'organisation, les concepts afférents à ces objets sont en effectif tel qu'il serait vain de viser une exhaustivité dans la présentation de leurs évolutions. Le parti pris dans les pages qui suivent a été de s'attacher aux exemples les plus emblématiques permettant de montrer une évolution dans l'apparition des concepts agronomiques et d'esquisser leur portée, ceci en lien avec les contours et objets de la discipline. Par commodité, nous illustrerons successivement les évolutions des deux types de concepts utilisés par l'agronomie, pour caractériser le fonctionnement de l'agroécosystème, puis pour caractériser l'action des acteurs.

8. On se limitera ici aux concepts relatifs aux objets. Ceux qui ont trait aux outils (comme ceux de profil cultural, de tour de plaine, ou des indicateurs de performance agronomique) et aux méthodes (l'expérimentation-système, le diagnostic agronomique, différents types de modélisation, ou encore la conception et la recherche d'innovations, par exemple) de la discipline seront présentés dans le chapitre 2.

De nombreux concepts assimilés pour aborder et caractériser le fonctionnement de l'agroécosystème

Flirtant avec nombre d'autres disciplines dont elle partage les objets ou se frottant à elles, quand elle n'en est pas la directe héritière (chapitre 4), l'agronomie a beaucoup emprunté – et continue à le faire. De manière caricaturale, on pourrait vouloir distinguer l'emprunt de l'appropriation transformatrice, issue fréquemment d'un travail conjoint entre disciplines ; en réalité, il s'agit d'un continuum et la distinction n'est pas toujours évidente à faire.

Au départ, les concepts issus de la science du sol

L'origine de l'agronomie française contemporaine se trouvant, institutionnellement, humainement et objectivement, du côté de la science du sol, c'est d'abord à cette discipline que les emprunts ont été faits. De 1945 à 1970, tout en réalisant le passage du laboratoire au champ cultivé narré ci-dessus, l'agronomie a couramment utilisé nombre de concepts liés au sol et venant de la discipline « mère ». Ainsi en est-il pour caractériser et la terre et l'objet tridimensionnel qu'est le sol : granulométrie, texture, capacité d'échange cationique, horizon de sol, humus, porosité, adhésivité, plasticité, point de flétrissement permanent, etc. Ces concepts ont été utilisés pratiquement sans changement par les agronomes. D'autres concepts issus de la science du sol ont subi une transformation, ou des prolongements sémantiques adaptés aux objets de l'agronomie, fruits d'un dialogue entre les deux disciplines. Un exemple peut être pris, pour l'illustrer, à travers la structure du sol. En science du sol, la structure correspond originellement à l'assemblage des agrégats terreux, avec différentes variantes d'usage du concept : pour un pédologue qui s'intéresse au sol, depuis son interface avec l'atmosphère jusqu'à son interface avec la roche-mère, ce qui importe c'est la caractérisation de la structure macroscopique des différents horizons (horizon lamellaire, horizon poreux, etc.) ; tandis qu'un spécialiste de mécanique des sols s'intéressera à la stabilité de la structure et à sa dégradation, en particulier au niveau de l'horizon de surface. En agronomie, tout en désignant formellement toujours l'agencement des agrégats terreux, le concept de structure a évolué et s'est appliqué plus spécifiquement aux horizons ayant un impact direct sur le fonctionnement du peuplement végétal et sur les processus en jeu dans les impacts environnementaux liés à l'agriculture. Se sont ainsi développées depuis les années 1960 en agronomie des manières d'organiser les connaissances sur les agencements dans ces horizons. Le concept s'est ainsi transformé, et la structure du sol en agronomie n'est plus tout à fait celle de la science du sol à l'origine. En ce qui concerne la stabilité structurale, l'accent mis par la science du sol portait sur la manière de la caractériser et sur les mécanismes à l'origine de la dégradation de la structure. Les agronomes ont valorisé cet ensemble de connaissances et l'ont prolongé en se préoccupant des impacts de cette stabilité et de cette dégradation en surface, en particulier sur deux phénomènes importants : la levée des plantes cultivées d'une part, et le ruissellement et l'érosion d'autre part. Ils ont pour cela dérivé des concepts comme celui de « croûte de battance » puis celui de « trajectoire d'états » pour caractériser la dynamique d'évolution de l'état de surface du sol, en relation avec ces deux phénomènes. Ces évolutions conceptuelles ont été engendrées non par une quête cognitive relative à

la pédogenèse (cas du pédologue) ou aux processus physiques d'évolution du matériau (mécanique des sols), mais par de nouvelles questions, liées à l'élaboration du rendement ou aux enjeux environnementaux.

Pour traiter de la dynamique de l'eau, un exemple de constructions conceptuelles interdisciplinaires

Des emprunts du même type ont existé avec d'autres ensembles disciplinaires, avec parfois des agencements entre plusieurs disciplines qui partagent un « patrimoine conceptuel » commun. Ainsi de la question de la dynamique de l'eau dans le sol, de sa contribution à l'alimentation hydrique des cultures, et de la gestion de l'irrigation. Le numéro 12 (1) des *Annales agronomiques* de 1961 dédié à ces questions illustre bien cette interdisciplinarité, où se croisent sciences des sols, bioclimatologie, physiologie végétale et agronomie (encadré 1.3).

Largement nourris par des références internationales sur la dynamique de l'eau aux interfaces sols-végétation-atmosphère (avec d'abondantes citations de Thornthwaite ou encore Penman), les concepts des bioclimatologistes (évapotranspiration potentielle et

Encadré 1.3. Sommaire du numéro 12 (1) des *Annales agronomiques* (1961)

Darlot A. – Le problème des irrigations de complément. Perspectives de développement, influence sur l'aménagement des eaux, nécessité et objectifs d'une expérimentation.

Turc L. – Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évaporation potentielle, formule climatique simplifiée et mise à jour.

Bouchet R.J. – Signification et portée agronomique de l'évaporation potentielle.

Robelin M. – Éléments sur la rentabilité de l'irrigation.

De Parcevaux S. – Tests physiologiques permettant de contrôler l'alimentation en eau des plantes.

Mériaux S. et Perrey C. – Observations sur l'irrigation du dactyle en sol de réserve hydrique moyenne.

Hallaire M. – Irrigation et utilisation des réserves naturelles.

Huguet C. – Essais d'évaluation des besoins en eau de cultures maraîchères sous climat méditerranéen.

Damagnez J. et de Villèle O. – Les besoins en eau réels des cultures et les possibilités d'utilisation des réserves d'eau du sol en Tunisie. Influence de la salure.

Cointepas J.P. et Roederer P. – Premiers résultats de l'évolution de la salure du sol par irrigation à l'eau salée en Tunisie.

Godard M. – L'approvisionnement en eau du sol, les facteurs climatiques et la végétation du maïs dans le Languedoc méditerranéen.

Granier J. – Compte rendu des essais d'irrigation faits à l'école de Valabre en 1959 et 1960.

Périgaud S. – Problèmes posés par l'irrigation et le drainage des sols de Brenne.

Vernet A. et Chaussat R. – Dynamique radiculaire et alimentation en eau des végétaux.

évapotranspiration réelle par exemple), des spécialistes de sciences du sol (humidités remarquables dans le sol comme le point de flétrissement permanent), ou partagés par ces deux communautés (par exemple la réserve utile) y sont exposés et commentés par des spécialistes de ces disciplines (en particulier Bouchet, Hallaire, et Turc). Ils circulent largement d'un article et d'une discipline à l'autre, et sont aussi appropriés par les agronomes comme Robelin et Huguet, qui en élargissent la portée en les utilisant pour comprendre et raisonner l'alimentation hydrique des cultures, dans une perspective d'amélioration de la production végétale. Ils cherchent notamment à établir des relations entre la production de matière sèche d'une part et le rapport entre évapotranspiration réelle et évapotranspiration maximale d'autre part – comme le fait aussi à la même époque Talineau (1970) en Côte d'Ivoire. La perspective d'usage des concepts est différente, mais ils sont largement partagés entre les disciplines. On peut d'ailleurs appréhender la sortie de ces concepts du champ de la recherche vers celui de l'usage sur le terrain, comme en témoigne leur présence assez abondante dans les années 1960 dans des articles du *Bulletin technique d'information* du ministère français de l'Agriculture, périodique à destination des ingénieurs des services agricoles chargés jusqu'au début des années 1960 de l'appui au développement de l'agriculture dans les départements. Quatre à cinq décennies plus tard, les concepts utilisés ont évolué, mais ce sont les mêmes collaborations pluridisciplinaires qui prévalent dans des travaux de modélisation dits « sol-végétation-atmosphère », conçus avec des finalités différentes (en particulier en relation avec des enjeux environnementaux), et dans les modèles de culture, notamment le modèle Stics produit à l'Inra (« Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standard », qui modélise, à l'échelle de la parcelle, le développement d'une culture ou d'une succession culturale en fonction du climat, des caractéristiques du sol et des pratiques).

Depuis 1970, qualifier le fonctionnement du peuplement végétal

C'est sans doute lorsque l'agronomie s'est attachée, dans les années 1970, à mieux comprendre le fonctionnement du système climat-sol-plante sous l'effet des pratiques en investissant davantage le végétal, que l'on a le plus assisté à des mélanges importants entre assimilation de concepts extérieurs et création de concepts propres. L'ensemble est d'autant plus complexe à démêler que plusieurs orientations de caractérisation du fonctionnement du peuplement se sont successivement faites jour. À la base de ces constructions conceptuelles figure néanmoins un emprunt commun, et d'ailleurs approximatif, sous la forme du concept de « peuplement ». En écologie en effet, le peuplement désigne généralement un ensemble d'individus d'espèces différentes, au fonctionnement écologique apparenté, partageant un habitat. Pour une parcelle agricole, le terme de peuplement devrait donc s'appliquer à la formation végétale de la parcelle, c'est-à-dire à l'ensemble constitué de la ou des espèces cultivées et des adventices. Il a cependant davantage été utilisé et de manière très commune en agronomie pour évoquer la population de la seule espèce cultivée sur la parcelle (reléguant les autres espèces dans le « milieu »), en particulier dans l'expression « fonctionnement du peuplement végétal ». Sur cette base, trois orientations d'évolution peuvent être schématiquement distinguées, que nous qualifierons de manière simplificatrice de « diagnostique », d'« écologique » et de « fonctionnaliste ». Si elles partagent un certain nombre de concepts, comme ceux de croissance et de développement des plantes, elles sont fondées sur des visions du couvert et des finalités cognitives différentes, qui se sont parfois entrechoquées et parfois mutuellement enrichies.

L'orientation « diagnostique » est contemporaine de l'investigation massive par l'agronomie des situations agricoles. Il s'agit de se donner les moyens de comprendre « ce qui se passe » dans un champ d'agriculteur. Les concepts de la physiologie végétale semblent alors utiles, en particulier pour tout ce qui concerne l'organogenèse, mais notablement insuffisants. Les concepts de facteurs et conditions de la croissance, déjà présents chez Demolon (et d'origine anglo-saxonne), sont réemployés, mais il est nécessaire de disposer d'une conceptualisation de la manière dont la biomasse totale formée engendre la production et la croissance des organes, et *in fine* leur traduction en rendement de la culture constitué par les organes récoltés. À cet usage apparaît le concept d'« élaboration du rendement », puis ceux dérivés de « schéma d'élaboration du rendement » (sans doute inspiré des schémas produits par les sélectionneurs, comme celui de Bingham, 1969, que Sebillotte reproduit dans son polycopié de 1978), de « structure du peuplement » pour caractériser la diversité des états phénologiques au sein d'un peuplement et comprendre l'origine de cette diversité, et de « composante du rendement » (encadré 1.4).

Parallèlement se développe une autre approche du peuplement végétal. Les écologues travaillant sur tout type de peuplement végétal et les agronomes travaillant sur les populations d'une espèce cultivée partagent une seule et même problématique, tout au moins tant que les agronomes s'intéressent à la seule production de biomasse totale, ou à certains des mécanismes génériques de croissance et de développement. Dans une approche « écologique » du fonctionnement du peuplement végétal en agronomie, de nombreux concepts sont ainsi partagés avec l'écologie fonctionnelle, relatifs notamment à la production de cette biomasse (interception du rayonnement lumineux, indice foliaire, vitesse de croissance relative, allocation des assimilats, conductance stomatique, somme de température, etc.) ou relatifs au lien entre le fonctionnement du végétal et le milieu (facteur limitant de la croissance par exemple). Est-ce donc l'écologie fonctionnelle qui a inspiré l'agronomie dans cette orientation ?

Encadré 1.4. Les schémas d'élaboration du rendement

Un schéma d'élaboration du rendement rend compte des relations entre les composantes du rendement, mais aussi des relations entre les états du milieu et ces composantes, ainsi qu'entre les pratiques agricoles et ces états du milieu. Il peut être élaboré de manière théorique, sur la base de connaissances scientifiques génériques, mais peut aussi servir à représenter des situations agricoles particulières. Cette manière d'aborder le fonctionnement du peuplement représente souvent une grande puissance diagnostique à la fois pour interpréter des résultats d'essai et pour identifier l'origine de problèmes de production. Un des premiers exemples de cette approche conceptuelle est donné par les travaux de Milleville, agronome de l'Orstom à l'époque en poste au Sénégal. Ses travaux sur l'arachide sont relatés notamment dans l'article de 1974 des *Cahiers de l'Orstom, série Biologie*, intitulé « Enquête sur les facteurs de la production arachidière dans trois terroirs de moyenne Casamance ». Il s'agit sans doute là sinon du premier travail de diagnostic agronomique régional – Manichon et Sebillotte notamment avaient produit « Étude de la monoculture du maïs. Résultats d'une enquête agronomique dans les régions de Garlin et de Navarrenx (Pyrénées-Atlantiques) » sous forme d'un rapport en 1973 –, du moins d'un des premiers travaux de ce type, et d'un des premiers schémas d'élaboration

Encadré 1.4. Les schémas d'élaboration du rendement (suite)

du rendement publiés (figure 1.4). Les concepts permettant l'analyse de la production sont génériques, mais les lois de fonctionnement dont ils permettent de rendre compte sont dépendantes des caractéristiques de chacune des espèces, ou groupes d'espèces, ce qui amène à une accumulation de travaux spécifiques par culture. Par ailleurs, ils sont au départ mis à l'épreuve sur des cultures annuelles productrices de grains, et leur usage s'est révélé peu adapté à d'autres types d'espèces annuelles, ou à des cultures pérennes. Ce n'est que dans les années 1990 et 2000, en particulier dans les unités de l'Inra d'Avignon et de Montpellier, que des adaptations de ces concepts aux cultures pérennes ont été forgées.

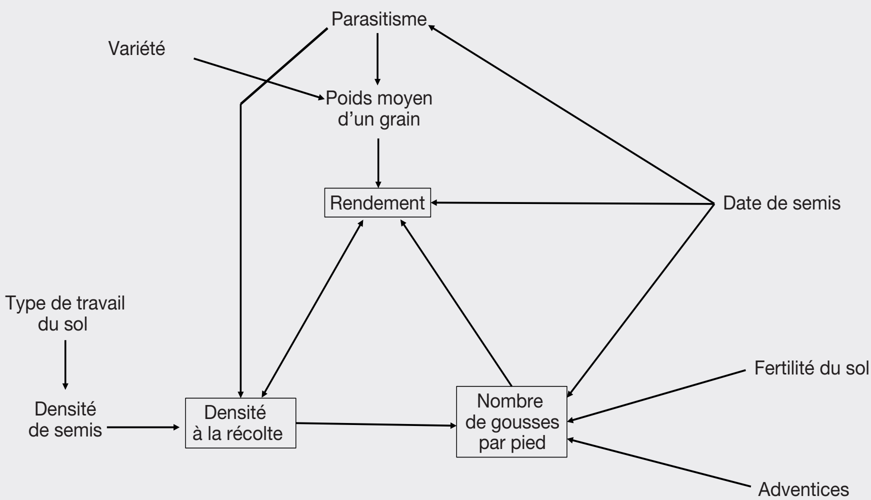


Figure 1.4. Schéma d'élaboration du rendement de l'arachide (Milleville, 1974).

Curieusement, il ne semble pas que ce soit le cas, les deux disciplines ayant cheminé en parallèle entre 1970 et 1990 environ, sans trop se rencontrer. En agronomie, ce sont ainsi plutôt les travaux menés avec les bioclimatologistes (Gosse, Bonhomme, Durand) qu'avec les écologues qui ont été à la source des avancées conceptuelles dans lesquelles le peuplement est représenté par une surface d'échange avec le milieu environnant, cette approche étant d'ailleurs partagée de manière contemporaine à l'étranger avec les travaux notamment de Monteith en Grande-Bretagne, et de de Wit aux Pays-Bas. Des prolongements plus spécifiques à l'agronomie se sont ensuite produits, notamment en ce qui concerne les rapports entre croissance du peuplement et alimentation minérale, qui peuvent être illustrés par le concept de « courbe de dilution critique de l'azote », permettant de caractériser l'évolution de la teneur en azote d'un peuplement végétatif en croissance, et de l'utiliser pour diagnostiquer des états de carence. Ce concept relève d'une orientation « écologique » de l'approche du fonctionnement du peuplement végétal, mais il a un usage pour le diagnostic agronomique – ce qui montre bien l'entremêlement des orientations déjà mentionné ci-dessus. L'encadré 1.5 illustre la manière dont il a permis une évolution de la fertilisation azotée des cultures. Depuis quarante ans, ces approches du fonctionnement du couvert ont été appliquées à une très grande diversité d'espèces ; les fronts actuels de production de connaissances sont

issus des travaux de compréhension de nouveaux systèmes, notamment ceux intégrant des mélanges d'espèces ou de variétés, pour lesquels des concepts comme celui de l'allocation des ressources entre espèces sont mobilisés.

Encadré 1.5. Un changement de paradigme nécessaire pour étudier la nutrition et la fertilisation minérale des cultures

Gilles Lemaire

La fertilisation minérale des cultures s'est historiquement développée selon le paradigme de la réponse du rendement des cultures à des apports croissants d'éléments fertilisants. L'approche physico-chimique a analysé les facteurs du sol déterminant la disponibilité des différents éléments pour la plante selon le schéma de la figure 1.1, cette disponibilité étant alors considérée comme une variable externe à la plante. La disponibilité des éléments à forte interaction avec la matrice du sol (comme P et K) était estimée au moyen d'analyses de sol (diagnostic), et la détermination empirique de valeurs seuils (pronostic). Pour les éléments peu interactifs avec la matrice du sol (comme N), une approche de bilan estimatif entre la minéralisation nette des matières organiques du sol et les pertes d'azote sur une période de culture (Machet *et al.*, 2017) permet de pronostiquer la fourniture potentielle de N par le sol à la culture. La capacité prédictive de cette approche pour les différentes cultures reste encore aujourd'hui relativement limitée (Valkama *et al.*, 2011). Face à cette incertitude du pronostic, les agriculteurs, compte tenu de leur aversion au risque de sous-fertilisation, ont appliqué plus d'engrais que strictement nécessaire, cet excès engendrant les impacts environnementaux que l'on sait.

Les connaissances acquises progressivement au cours du demi-siècle passé en écophysiologie et en biologie des sols ont permis de reconsidérer le paradigme initial sur trois aspects principaux (Briat *et al.*, 2020) :
– la plante elle-même est un acteur important de la disponibilité des éléments, puisqu'elle régule sa propre capacité d'absorption racinaire en fonction de sa propre capacité de croissance ;
– le microbiome du sol agit lui-même en interaction avec la plante sur la disponibilité des éléments ;
– la disponibilité de chaque élément dépend fortement de la disponibilité des autres éléments et implique donc une approche stœchiométrique.

Ainsi, le paradigme fondé sur une approche linéaire, considérant la disponibilité de chacun des éléments séparément comme un facteur externe à la plante, doit être reconsidéré. La disponibilité des éléments nutritifs devient alors une propriété émergente du système et ne peut plus être prédite par les seuls facteurs physico-chimiques du sol (figure 1.5).

Face à cette complexité systémique, un diagnostic *in situ* de l'état de nutrition minérale de la culture apparaît comme une alternative à l'incertitude de l'approche pronostique. Les courbes critiques de dilution de l'azote (Lemaire *et al.*, 2008), étendues à P et K (Salette et Huché, 1991 ; Duru et Thélier, 1997 ; Lemaire *et al.*, 2019b), fournissent un outil de diagnostic conjoint de nutrition N-P-K qui reflète le niveau de disponibilité des éléments nutritifs au sein du système sol-plante-microbiome. On peut alors renverser totalement le paradigme initial : d'une réponse de la culture à des apports croissants d'éléments nutritifs pour laquelle il est difficile de trouver un invariant, on passe à l'analyse d'une réponse à des niveaux de déficit nutritionnel

Encadré 1.5. Un changement de paradigme nécessaire pour étudier la nutrition et la fertilisation minérale des cultures (suite)

croissants qui possède une valeur générique plus élevée. De plus, le diagnostic nutritionnel N de la culture réalisé informe sur la « disponibilité » de N au sein du système sol-plante-microbiome et renseigne donc aussi sur le niveau des risques environnementaux encourus (figure 1.6). Ainsi, un même diagnostic doit permettre de gérer par une fertilisation appropriée les compromis entre optimisation des rendements et risques environnementaux.

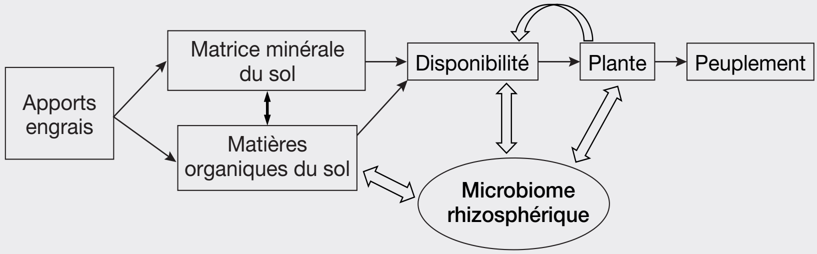


Figure 1.5. La disponibilité des éléments nutritifs comme propriété émergente.

Flèches simples : approche linéaire de la réponse du rendement des cultures aux apports d'engrais considérant la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol comme un facteur externe à la plante, uniquement déterminée par les apports d'engrais et leur interaction avec la matrice solide du sol. En gras et flèches doubles : explicitation des interactions et rétroactions de la plante et du microbiote rhizosphérique sur la disponibilité des éléments nutritifs, qui doit alors être considérée comme une propriété émergente du système.

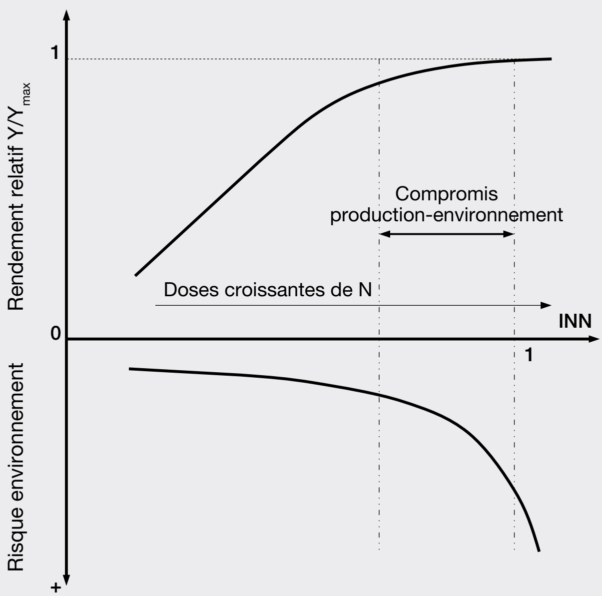


Figure 1.6. Réponse d'une culture au niveau de satisfaction de ses besoins en azote estimé par l'indice de nutrition en azote (INN), qui représente le niveau de disponibilité de l'azote dans le système sol-plante-microbiome, et peut donc être mis en relation avec les risques de fuites d'azote dans l'environnement.

L'orientation « fonctionnaliste » enfin est la plus récente, celle qui s'éloigne le plus du centre de gravité de l'agronomie, et rejoint davantage la physiologie végétale et la génétique, avec lesquelles elle dialogue constamment et qui permet à la discipline de nouer des liens. Elle prend racine dans des questions agronomiques qui correspondent souvent à des constats de fonctionnement suboptimal du couvert : manque à la levée, stress hydrique ou nutritionnel générateur de pertes de rendement ou de qualité, perturbation du fonctionnement trophique ou perte d'organes liée à des attaques parasitaires, etc. Issue de travaux à l'échelle de la plante ou du couvert qui font le lien avec l'approche « diagnostique »[9], cette approche fonctionnaliste investit des niveaux d'organisation (l'organe, la plante entière, un ensemble d'organes impliqués dans une fonction) qui sont souvent intermédiaires entre l'échelle de la population et celle des mécanismes cellulaires ou moléculaires. Elle a recours de manière importante à la modélisation, mobilisant en particulier les modèles rendant compte des relations entre structure et fonction. Depuis les années 1990, les travaux menés et pilotés par Tardieu sur l'alimentation hydrique et les effets des hautes températures constituent une illustration majeure de cette ligne de recherche ; l'article de Tardieu *et al.* (2017) explicite de manière synthétique les interactions disciplinaires générant une plus-value dans la production de connaissances sur la réaction des cultures, en l'occurrence aux conditions de sécheresse. Sans perdre de vue la finalité agronomique (en particulier par le choix des questions, des variables d'intérêt, et le retour final vers l'échelle du couvert), cette écophysiologie mobilise les concepts (et les outils) de la physiologie végétale et de la génétique, par exemple architecture, contrôle métabolique, signalisation hormonale ou encore phénotype ; plus tous ceux qui sont liés à une thématique, par exemple pour l'alimentation hydrique les concepts de pression osmotique, d'ouverture stomatique, de demande évaporative, etc. Ces travaux sont menés sur toute une gamme de plantes d'intérêt agricole (annuelles ou pérennes, en C3 ou C4, tropicales ou tempérées, légumineuses ou non), tout en ne négligeant pas ce que les travaux sur des plantes modèles (comme *Arabidopsis thaliana* ou *Medicago truncatula*) peuvent apporter comme connaissances sur des processus élémentaires, en jouant notamment sur la capacité à mobiliser la diversité génétique existant chez ces espèces. La portée concrète en agronomie de cette orientation (également fructueuse pour l'amélioration des plantes) s'est traduite de manière plus ou moins affirmée selon les espèces et les mécanismes étudiés, à travers la production d'outils de diagnostic de l'état des couverts (par exemple sur l'état hydrique) ou la contribution à la construction d'itinéraires techniques (par exemple la taille des arbres fruitiers permettant d'améliorer la charge en fruits tout en limitant les risques sanitaires, voir Lauri, 2007).

Des emprunts discrets puis plus sensibles à l'écologie

Pour finir ce bref et partiel tour d'horizon des concepts de l'agronomie pour caractériser le fonctionnement de l'agroécosystème, il faut revenir aux affinités avec l'écologie. Si l'agronomie et l'écologie fonctionnelle ont utilisé de manière non fortuite, mais non délibérée les mêmes concepts pour caractériser le fonctionnement du peuplement végétal (voir l'approche « écologique » ci-dessus), il existe bien en revanche un apport conceptuel manifeste à l'agronomie de cette autre branche de l'écologie qu'est l'écologie

9. Voir notamment les travaux de Wery (1996) et de Crozat (2000) sur légumineuses, synthétisés dans leurs mémoires d'habilitation à diriger des recherches.

des communautés. C'est d'abord par l'objet « prairie » que le partage s'est effectué : la prairie des agronomes, qu'elle soit naturelle ou semée, est un mélange d'espèces, cultivé mais peu anthropisé, et dont la production de biomasse totale est une variable d'intérêt. C'est donc un objet très proche de l'objet que sont les couverts naturels des écologues, et les deux communautés, impliquées dans des projets communs, partagent des questionnements, des méthodes et des concepts. C'est ainsi que, faisant suite au concept de « composition floristique », le concept de « trait » d'espèce des écologues est parvenu pour la première fois en agronomie, pour aider à caractériser le fonctionnement d'une communauté prairiale (Duru *et al.*, 2004). Plus tard, cette inspiration écologique est venue aussi fertiliser les approches plus génériques du fonctionnement des peuplements cultivés, comme en attestent l'intitulé et le contenu du chapitre 5 par Bancal *et al.* dans *L'Agronomie aujourd'hui* en 2006 : « La parcelle, lieu d'interactions entre différentes populations » – rendant au passage au terme « peuplement » son sens écologique originel.

De manière plus large, le recours aux concepts de l'écologie des communautés – et de l'écologie des paysages – s'est étendu rapidement dans les années 2000 à travers des collaborations plus intenses entre écologues et agronomes, au moment du changement de représentation évoqué ci-dessus (voir par exemple Malézieux *et al.*, 2009 ; Médiène *et al.*, 2011 ; Duru *et al.*, 2015a ; Gaba *et al.*, 2014 ; 2015). De nombreux concepts, à commencer par ceux de biodiversité et d'écosystème, mais aussi entre autres de niche écologique, d'habitat, de synergisme, de facilitation, d'avantage sélectif, sont venus enrichir la « boîte à outils » conceptuelle utilisée par les agronomes. On retrouve finalement globalement l'ensemble de ce qui figure dans le livre de L. Jackson *Ecology in Agriculture*, publié dès 1997, la dynamique de collaboration entre écologie et agronomie ayant été différente aux États-Unis. On notera avec intérêt que cette même L. Jackson fut présente au 10e Congrès de la Société européenne d'agronomie en 2010 à Montpellier pour une conférence invitée, dans une session entière consacrée à l'« intensification écologique des systèmes de culture », ce qui traduit aussi de manière symbolique cette acculturation de l'agronomie à l'écologie et à ses concepts. Il est toutefois encore malaisé de distinguer aujourd'hui s'il ne s'agit pour les agronomes que d'une capacité à se mouvoir dans un nouvel univers conceptuel, ou s'il y a un vrai usage de tous les concepts écologiques précités pour renouveler la manière de traiter les questions de protection des cultures, de systèmes de culture complexes, ou encore celles de services rendus par les « ingénieurs de l'écosystème » – les effets des lombrics sur la structure et la dynamique de la matière organique des sols étant pour ces derniers emblématiques.

Enfin, le concept de « service écosystémique » a lui aussi été approprié par l'agronomie à partir du milieu des années 2000 (voir notamment le travail interdisciplinaire impliquant des agronomes dans Lescourret *et al.*, 2015a). Cet emprunt ne fait qu'illustrer une appropriation plus large et antérieure, celle du renversement notoire des relations de l'agriculture avec la société, déjà initié dans les années 1990 avec l'émergence de la notion de multifonctionnalité de l'agriculture : il s'agit de prendre au sérieux le fait que l'agriculture ne produit pas que des denrées, mais aussi des services, notamment des services environnementaux – dont par exemple le stockage de carbone. Pour l'agronomie, cette appropriation rend nécessaires à la fois l'analyse de nouveaux processus et l'invention d'indicateurs appropriés pour évaluer la manière dont ces services sont rendus par les pratiques des agriculteurs.

Pour traiter de l'action en agronomie, un besoin de rupture conceptuelle

Si l'agronomie s'est distinguée d'autres disciplines partageant tout ou partie du même objet qu'est l'agroécosystème en réutilisant ou en transformant certains concepts qu'elle leur empruntait, c'est bien dans son autre champ d'investigation et d'intervention, le raisonnement des actions en agriculture, qu'elle s'est le plus singularisée. Les deux décennies centrales en matière de conceptualisation dans ce champ de l'agronomie sont les années 1970 à 1990. Mais les périodes précédant et suivant ces vingt années ne sont pas vierges en la matière. Ainsi, de manière synthétique, et en acceptant toujours des recouvrements entre périodes, on peut distinguer trois temps :

– le temps de la « reconceptualisation », à partir de concepts anciens qui sont revisités lorsque l'agronomie sort du laboratoire, puis de la parcelle expérimentale, et fait des situations agricoles un objet d'analyse ;

– le temps de la rupture, au cours de laquelle les concepts les plus spécifiques de l'agronomie à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation agricole sont mis en place et commencent à être utilisés (les décennies 1970 et 1980 en particulier) ;

– le temps de l'élargissement, postérieur à 1990, au cours duquel des concepts relatifs au raisonnement de l'action à des niveaux d'organisation supérieurs à la parcelle et à l'exploitation agricole sont à leur tour proposés et utilisés, suivant en cela l'élargissement des objets de l'agronomie évoqué ci-dessus.

Parce qu'elle est centrale pour la compréhension de ce qu'est l'agronomie, nous commencerons par la période qualifiée de « rupture », avant d'aborder celles qui l'ont précédée et suivie.

Itinéraire technique, système de culture, modèle d'action

Pour caractériser l'invention de concepts à laquelle les agronomes ont procédé pour traiter de l'action en agriculture, il pourrait suffire de se référer à l'un d'entre eux : celui d'itinéraire technique. En devenant d'usage courant, ce dernier s'est assez peu galvaudé, et conserve le plus souvent dans ses emplois multiples ses intentions originelles, à savoir permettre d'appréhender les différentes facettes de la conduite d'une culture, plus ou moins étalées dans le temps, comme un tout, finalisé par des objectifs. Cette notion met l'accent sur une approche systémique de l'action de l'agriculteur, couplée à une vision évolutive des « états du milieu » caractérisant le champ cultivé : c'est la connaissance des relations entre le sol (caractérisé par ses propriétés) et les techniques sous un climat donné qui permet d'envisager plusieurs choix de conduite technique en fonction non seulement du contexte physique, mais aussi des moyens techniques disponibles et des finalités poursuivies, se traduisant en états du milieu à atteindre. La force épistémique du concept d'itinéraire technique tient peut-être au fond à ce qu'à ce moment de l'histoire il fait le lien entre deux points de vue de l'agronome, qu'il les intègre dans une approche unique :

– le point de vue sur le fonctionnement du champ cultivé, selon lequel il n'existe pas de liaison robuste entre une technique et le résultat final du processus de culture (c'est la fameuse négation de la relation causale directe technique → rendement), mais que le lien entre les pratiques et le résultat est la résultante de processus complexes, impliquant une succession d'états du milieu et du peuplement végétal, non déterminés à l'avance ;

– le point de vue sur l'action de l'agriculteur, selon lequel il existe une logique aux pratiques mises en œuvre, un raisonnement des pratiques, qui les lie entre elles et leur donne un certain degré de cohérence.

Le cœur de ce qui fait dans les années 1970 l'« évolution de la pensée agronomique » française (selon les termes de l'article de Sebillotte de 1978b) se trouve dans ce binôme articulant connaissance sur les processus et connaissance sur l'action, et autorisant la double dimension scientifique et ingénierique de cette agronomie.

On ne peut évoquer le concept d'itinéraire technique sans faire référence à celui de système de culture. Ce dernier ne relève pas d'une invention en termes de vocabulaire, puisque son emploi remonte à plusieurs siècles. L'expression a d'ailleurs été utilisée dès le début de la période couverte par cet ouvrage, avec des significations hésitantes (encadré 1.6), phénomène qui peut être encore aujourd'hui à l'origine d'incompréhensions quant à sa portée. Entre itinéraire technique et système de culture existe un apparentement, voire même une homothétie, les intentions des deux concepts étant similaires, mais appliquées à deux niveaux d'organisation différents. Là où l'itinéraire technique s'attache à décrire – et si possible comprendre – les actes techniques pour une culture, le système de culture décrit les actions de l'agriculteur à une échelle pluriannuelle. Ce faisant, ce dernier incorpore ce qui était contenu dans le concept de rotation, en l'enrichissant de manière considérable :
– en faisant du choix des cultures qui se suivent sur une parcelle une décision qui peut être remise en cause annuellement (au contraire du choix d'une rotation, où les cultures et leur ordre sont fixés) ;
– en mettant en exergue les liens existant entre choix des cultures et choix des itinéraires techniques qui leur sont appliqués ;
– enfin en définissant le système de culture non pas à l'échelle d'une parcelle, mais à l'échelle d'un ensemble de parcelles traitées de manière homogène, introduisant ainsi l'idée d'un « objet » de gestion pour l'agriculteur intermédiaire entre la parcelle et l'exploitation agricole dans son ensemble (rôle que joue aussi la sole, mais à l'échelle d'une année culturale seulement).

Comme l'itinéraire technique, le système de culture sert à décrire et à comprendre l'action, avec un usage partagé du concept de « règle de décision ». Comme lui, il valorise la connaissance qu'ont les agronomes des interactions existantes entre dimensions physiques, chimiques et biologiques du champ cultivé, mais aussi entre les actes techniques, qui dans le raisonnement de l'agriculteur font, au moins en partie, système. Par le truchement de ce double système d'interactions elles-mêmes connectées (car le système d'action joue sur le système biophysique d'interactions, et réciproquement), le système de culture a été et reste, comme l'itinéraire technique, un concept à l'interface entre les deux grands champs de l'agronomie.

On n'insistera pas sur les autres concepts inventés nés de la même vision, qui sont en quelque sorte dérivés des précédents et ont pour fonction de renforcer l'outillage de l'agronomie pour traiter de la gestion de l'articulation entre deux cultures successives (« effet précédent » et « sensibilité du suivant »), et pour réfléchir le temps long des successions culturales (« état moyen » et « effet cumulatif »). Leur postérité est moindre, peut-être en raison d'une moindre accessibilité à l'intuition, et d'une préoccupation plus faible lors de leur émergence quant aux enjeux auxquels ils s'adressent : dans une période d'artificialisation forte de l'agriculture, qui s'intéressait vraiment

aux effets fins d'une culture sur la suivante et aux effets à long terme, puisque l'artificialisation donne le sentiment qu'elle permet de gommer ces effets ?

Encadré 1.6. Les multiples définitions du système de culture chez les agronomes

Le terme de « système de culture », qui renvoie à un concept central pour les agronomes français, a pris au cours des XVIIIe et XIXe siècles deux sens différents, comme le note Papy (2008). Duhamel du Monceau, en 1762, l'emploie pour désigner un système d'actions appliquées au champ, successions culturales et d'espèces cultivées, raisonnées en fonction d'objectifs (par exemple la destruction des herbes, l'espérance de la meilleure récolte possible) et de conditions (par exemple le ressuyage de la terre). La succession des espèces revient en cycles. En 1783, Rozier parle ainsi de systèmes de culture attribués à différents auteurs, en expliquant comment ils résultent des représentations théoriques que ces auteurs se font du champ cultivé. C'est toujours le même concept que l'allemand Thaer utilise au début du XIXe siècle pour quantifier l'évolution de la fertilité du sol sous l'effet d'une rotation de cultures. Mais en 1849, de Gasparin donne un tout autre sens à ce terme : c'est « le mode dans lequel les forces naturelles ou artificielles, les unes sans les autres, ou les unes et les autres, se manifestent, se distribuent aux plantes ». Ainsi caractérise-t-il le système de culture par une combinaison de moyens de production comme les engrais ou la force de travail appliquée. Ce sens va perdurer au début du XXe siècle, mais être peu utilisé. Puis un sens plus proche de celui du XVIIIe siècle va réapparaître après la Seconde Guerre mondiale, se stabilisant après plusieurs tâtonnements. Ainsi en 1969, dans la seconde édition du *Profil cultural*, Hénin *et al.* écrivent encore « le système de culture est le mode de combinaison des facteurs qui assurent la production agricole », formule plutôt absconse sans connaissance des considérations théoriques de Hénin sur les facteurs et les conditions de la croissance des végétaux. Mais les développements qui suivent la définition éclairent : ce sont surtout les questions de raisonnement des successions culturales qui caractérisent le choix des systèmes de culture. C'est aussi cette dimension qui est mise en avant dans l'article « Système de culture » de l'*Encyclopedia universalis* par Sebillotte en 1968, sans qu'une définition précise du système de culture (ou « système de cultures » selon les occurrences) soit donnée. On ne trouve pas plus de définition dans l'article de Sebillotte des *Cahiers de l'Orstom* de 1974, et l'accent est toujours mis sur la succession des cultures et sur la dimension systémique des actions. La définition usuelle pour les agronomes, « C'est un sous-ensemble du système de production. Il est défini, pour une surface de terrain traitée de manière homogène, par : les cultures végétales avec leur ordre de succession (rotations) ; les techniques mises en œuvre », apparaît au milieu des années 1970, mais il n'y a pas de trace éditoriale de cette définition issue du « groupe système de culture Inra-INA » – la traduction anglaise lors du Congrès de la société européenne d'agronomie de 1990 n'ayant pas amélioré la capacité de citation. Le concept a donc été pendant un temps instable, puis peu facile à référencer, et peu facile à exporter, car il n'y a pas vraiment d'équivalent en anglais. Les agronomes utilisent en effet l'expression *cropping system*, mais elle ne comporte pas, ou que rarement, cette notion que l'on « sent » en français au-delà de la définition formelle, et qui prend sans doute ses racines dans l'histoire du concept : le système de culture, c'est fondamentalement la manière de cultiver, et renvoie donc à des choix techniques ; et c'est un système, donc l'énoncé de ses constituants n'épuise pas ses propriétés, qui reposent sur les interactions. Ce sens est maintenant solidement ancré chez les agronomes francophones.

En revanche, bien qu'il ne soit pas forcément plus connu, un autre concept inventé et très lié à celui d'itinéraire technique mérite une attention, c'est celui de « modèle d'action ». Apparu à la fin des années 1980, il résulte de la volonté des agronomes d'aller plus loin dans la compréhension de la décision des agriculteurs, afin d'appuyer de manière opérationnelle cette décision. C'est à la collaboration avec des disciplines des sciences sociales, auxquelles sont empruntées à cette occasion les méthodes d'observation et de formalisation comme on le verra dans le chapitre 4, que ce concept est dû. Les travaux génératifs, menés dans le Noyonnais par une équipe pluridisciplinaire du département SAD de l'Inra, sont relatés dans l'ouvrage *Fertilité et systèmes de production* (1989). Des variantes du concept ont existé, à la fois du point de vue du vocabulaire – modèle général de la conduite d'une culture, modèle pour l'action, modèle d'action – et du point de vue du contenu, selon les points de vue adoptés pour décrire les mécanismes de prise de décision : davantage apparentés à la gestion, avec une dimension planificatrice forte (Sebillotte et Soler, 1988b), ou influencés par la psychologie cognitive, avec un accent mis sur la capacité adaptative des agriculteurs (Cerf et Sebillote, 1988). Nonobstant ces nuances, ce que matérialise le concept de modèle d'action, c'est la nécessité de disposer d'une représentation de la décision des agriculteurs sur une base empirique, issue de l'observation de leurs pratiques et de la discussion avec eux de la signification de ces pratiques. C'est ce qui permet *in fine* à l'agronome de passer d'un raisonnement des techniques fondé sur ce qui paraît sensé de l'extérieur de l'exploitation, à un raisonnement des techniques qui intègre la rationalité des agriculteurs, comme l'illustre le modèle général selon Cerf et Sebillotte (1988), qui le définissent par :

– des objectifs culturaux à atteindre à une période déterminée de l'année (ce sont bien les objectifs de l'agriculteur) ;
– une organisation du chantier de travail à la parcelle ;
– des règles de fonctionnement et des indicateurs d'états du milieu permettant l'atteinte des objectifs sur l'ensemble de la sole, et fixant le niveau des risques acceptés face aux aléas climatiques dans le champ des situations envisagées (niveaux définis par l'agriculteur lui-même).

Il ne faudrait pas chercher la portée de ce concept dans les travaux menés pour décrire les modèles d'action de différents types d'agriculteurs – ils sont sans doute formellement peu nombreux. En revanche, ce concept est le marqueur d'un tournant dans la façon dont les agronomes produisent des références pour l'action. C'est en effet à partir des années 1990 que le concept de « règle de décision » s'impose dans la formalisation par les agronomes de références relatives aux techniques, aux itinéraires techniques et aux systèmes de culture, et que les modèles et outils d'aide à la décision fleurissent. Au-delà, des traces de l'influence de ce concept sont également perceptibles dans l'évolution des méthodes de conception d'itinéraires techniques et de systèmes de culture ainsi que d'accompagnement des agriculteurs dans le conseil, qui seront évoquées dans le chapitre 2 : la coconception de systèmes avec les agriculteurs (qui reconnaît aux agriculteurs non seulement des connaissances à valoriser, mais aussi une rationalité propre à prendre en compte) ou encore le conseil participatif en sont les directs héritiers.

Avant 1970, des « reconceptualisations »

Dès avant la rupture évoquée à la section précédente, l'analyse de situations agricoles est une sorte de préparation à son avènement. Cette sortie du laboratoire nécessite d'abord

de comprendre ce qui se passe chez les agriculteurs en matière de fonctionnement de l'agroécosystème. Cela va déboucher sur le diagnostic agronomique en parcelles agricoles, avec des travaux qui se multiplient dans l'Hexagone ainsi qu'en Afrique par les chercheurs agronomes de l'Orstom. On peut citer ainsi cette phrase d'un article de Leteuil (agronome alors en poste à Madagascar) en 1968 : « La mise en évidence de différences de rendement expliquées devient féconde dès lors que les contraintes de milieu et de structure ne jouent plus ; c'est alors que l'homme et sa technique en sont responsables. » Les contraintes du milieu s'entendent ici comme les caractéristiques du milieu inaccessibles aux transformations par l'homme (par exemple la pluviométrie, les caractéristiques pédologiques), et l'auteur suggère ainsi d'aller au-delà de cartographies liant milieu et rendement, pour donner toute sa place, dans la détermination des rendements, aux états du milieu générés par les techniques des agriculteurs.

Il n'y a alors plus qu'un pas pour aller vers la compréhension de ce que sont ces techniques. Certes, l'agriculteur n'était pas absent des préoccupations de l'agronomie : il était le destinataire final que les agronomes chercheurs et les agronomes chargés de la vulgarisation visaient, quand ils produisaient ou transféraient des connaissances. Et la préoccupation de production d'un corpus de recommandations pour les agriculteurs était bien présente, en particulier en matière de fertilisation – comme en matière de choix variétal ou de protection des cultures dans d'autres disciplines. Les ouvrages entre autres de Soltner et de Moule constituent, des années 1970 aux années 1990, des sommes de ces corpus. Mais ce qui émerge alors quand l'agronomie va plus résolument vers les agriculteurs, c'est le besoin d'être capable de décrire ce qu'ils font. D'autres disciplines, en particulier de sciences humaines (sociologie, anthropologie en particulier), partagent à l'époque ce nouvel objet que sont les pratiques des agriculteurs, mais leur influence à cette période sur l'agronomie n'est pas très sensible. Les premiers efforts de conceptualisation en agronomie des situations agricoles semblent ainsi relever de la simple « reconceptualisation » : on entend par là donner un sens agronomique nouveau, ou plus précis, à un concept banalisé, parce que le besoin s'en fait sentir pour décrire l'action. Deux exemples nous semblent à cet égard significatifs.

Le premier concerne le terme « parcelle » et la manière dont l'agronomie l'a réinvesti au début des années 1970, en éprouvant ce qu'il pouvait représenter conceptuellement. La meilleure illustration de cet investissement est sans doute le travail de Milleville au Sénégal, dans lequel il teste l'usage du concept de parcelle dans un tout autre contexte physique et socio-économique que celui qui prévaut en France, travail dont il est rendu compte dans l'article « Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne-Casamance » (1972). Saisissons au passage cette occasion de souligner d'une part la connivence qui existait entre agronomes francophones travaillant sur différents continents, et d'autre part l'usage qu'ils faisaient de cette diversité de milieux, à travers une citation éloquente issue de cet article : « Toute science doit définir ses concepts, puis en tester l'extensivité, ces concepts ayant initialement été définis dans un contexte particulier. Nous nous proposons dans cette note d'analyser quelle est, dans une zone du Sénégal, la signification agronomique du concept de "parcelle de culture", en la comparant au sens qu'on lui attribue habituellement dans l'agriculture européenne. » Dans cet article, Milleville pointe notamment l'impact double de l'hétérogénéité du milieu et de la

structure de l'exploitation sur l'étalement des opérations culturales dans la parcelle, et note ainsi que « la notion de parcelle de culture se révélait beaucoup plus difficile à cerner », par contraste avec la parcelle agricole dans les agricultures plus mécanisées. Cette dernière, qui n'est pas forcément une parcelle cadastrale, nomme ce qui peut faire l'objet par l'agronomie d'une description aisée car homogène en matière de pratiques. Deffontaines en 1991, explorant comment cette notion peut servir de passerelle entre l'agronomie et d'autres disciplines, la qualifie de « portion continue de territoire qui porte la même culture, ou a une même utilisation, et qui a fait l'objet de la même succession d'interventions », qui est le sens donné par les agronomes au concept depuis les années 1970.

L'agronomie a également opéré une reconceptualisation de l'exploitation agricole. Comme évoqué ci-dessus, elle en a fait un objet en soi à partir des années 1970, contribuant aux approches pluridisciplinaires du département SAD de l'Inra. Comme également déjà évoqué dans les sections précédentes, dès les années 1960 les agronomes avaient dialogué avec les économistes sur des questions se posant à l'échelle de l'exploitation agricole : optimisation de l'assolement, évaluation des « jours disponibles » pour effectuer les travaux agricoles. À cette époque, les agronomes apparaissent comme des partenaires détenant une expertise sur la production végétale, sans apporter de vision originale sur l'exploitation en elle-même. Dans les années 1970, deux lignes de fond de l'évolution de l'agronomie changent la perspective. Tout d'abord, l'approche systémique, qui est une constante de la réflexion agronomique dont on a vu qu'elle se concrétise à cette époque dans une représentation particulière du champ cultivé, déborde de cet objet premier, et est appliquée à d'autres objets d'intérêt. L'exploitation agricole est vue comme un système, comme l'indique l'article éponyme d'Osty en 1978 – ce qui d'ailleurs aurait pu et dû amener à un rapprochement de l'agronomie avec les sciences animales. Par ailleurs, l'inscription « en dur » dans le programme de l'agronomie de la volonté de comprendre l'action des agriculteurs pour la soutenir amène à qualifier ce système de façon très significative : pour les agronomes, c'est un système piloté. Les décisions techniques relatives à la conduite des cultures que prennent les agriculteurs ne sont évidemment pas isolées des autres décisions relatives à leur outil de travail, à l'économie de l'exploitation, etc. Les agriculteurs ont « de bonnes raisons de faire ce qu'ils font » ; et si les agronomes (comme les autres disciplines partageant cet axiome) veulent comprendre leurs actions, ils doivent le faire en investiguant les bons niveaux de réflexion et de décision. D'où la formalisation d'une représentation conceptuelle de l'exploitation agricole développée à la fin des années 1970 par Capillon, avec notamment Manichon et Sebillotte, dans laquelle l'agriculteur, inséré dans un environnement socio-économique et héritant d'une situation donnée dans un milieu physique également donné, pilote un ensemble de sous-systèmes pour satisfaire un jeu d'objectifs sous contraintes. Cette représentation conceptuelle, en constant dialogue avec celle issue d'économistes (Brossier, Marshall, Petit), a été à la base du développement d'outils pour qualifier et quantifier la diversité des exploitations agricoles et leurs évolutions (les « typologies » et les « trajectoires » d'exploitations) dans une région. Le constat de base était que la seule variabilité du milieu physique ne permettait pas de rendre compte de la diversité des stratégies des agriculteurs, la stratification d'une région selon les seules potentialités du milieu physique étant dès lors insuffisante pour mener des actions de développement. Ces représentations de la diversité des exploitations sont des outils précieux pour lier

la rationalité telle qu'elle s'exprime au niveau de l'itinéraire technique et du système de culture à celle s'exprimant au niveau de l'exploitation. À cette époque, dans ce domaine comme dans d'autres, les approches françaises sont restées longtemps isolées, et peu confrontées à ce qui était produit au niveau international, alors même que les organismes internationaux du Consultative Group on International Agricultural Research et différents projets de Farming System Research s'interrogeaient de manière proche et développaient leurs propres méthodes (voir par exemple les *Rapid Rural Appraisals*, Khon Kaen University, 1987).

D'autres concepts suivront un chemin identique de « reconceptualisation », celui de « sole » dans les années 1980, de « système fourrager » dans les années 1990, ou encore ceux de « fertilité » et de « potentialité ». Concernant ces deux derniers, qui sont également des concepts de passage entre les deux champs de l'agronomie (car la fertilité est l'expression du fonctionnement de l'agroécosystème, mais n'a de sens que dans un cadre d'action et pour un registre d'appréciation donnés), une véritable approche historique serait nécessaire pour démêler en quoi l'agronomie a fait preuve d'originalité et a fait progresser ces deux notions. Elles sont en effet présentes en permanence dans les préoccupations des agronomes, depuis l'article « Sur la capacité des sols » de 1952 par Demolon et Hénin (dans une section intitulée « Économie rurale » des *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*) jusqu'aux articles de Sebillotte de 1992 et 1993, intitulés respectivement « Pratiques agricoles et fertilité du milieu » (revue *Économie rurale*) et « L'agronome face à la notion de fertilité », en passant par l'article « Principe et utilité de l'étude des potentialités agricoles régionales » de Hénin et Deffontaines (1970), les différentes productions de ce dernier dans les années 1960 avec plusieurs collègues d'autres disciplines (dont la zootechnie), et enfin le numéro spécial du *Bulletin technique d'information* de 1982 « Fertilité du milieu et agriculture ». Enfin, il convient de rappeler ici que nous ne faisons que décrire à grands traits les évolutions des concepts, comme nous l'avons fait pour les objets, sans entrer dans les nuances de chacun d'entre eux, qui, loin d'être statiques, vivent dans le même temps qu'ils sont employés ou, mieux, parce qu'ils sont employés : ainsi par exemple du concept d'« assolement », qui au cours des décennies s'est enrichi de nuances conceptuelles successives (voir Doré, 2012b).

À partir de 1990, les concepts agronomiques liés à l'échelle territoriale

Après le début des années 1990, c'est l'intérêt pour des échelles d'organisation supérieures à la parcelle – le bassin d'approvisionnement, le territoire – qui a été l'élément générateur de nouveautés. Comme déjà évoqué, cet intérêt a débuté dès les années 1970, avec notamment les travaux de Deffontaines à l'interface entre géographie et agronomie, et ne s'est déployé de manière plus large chez les agronomes qu'à la faveur de la prise en charge réelle des enjeux environnementaux et écologiques, ainsi que de qualité des produits. Comme le soulignent Boiffin *et al.* en 2014, les progrès ont été notables dans le domaine de la caractérisation du fonctionnement des agroécosystèmes à des échelles spatiales supraparcellaires, mais aussi dans le domaine de la gestion territoriale : les agronomes peuvent aider à « décrire l'influence des systèmes de culture et de leur organisation sur le fonctionnement global de l'entité de gestion considérée », permettre de distinguer les différents facteurs qui régissent ce fonctionnement, et enfin contribuer à « concevoir et mettre au point des stratégies,

indicateurs, règles de décision et références pour maîtriser ou valoriser la variabilité induite par les systèmes de culture et leur répartition spatiale, interagissant avec la variabilité spatio-temporelle du milieu ».

Ces travaux valorisent essentiellement des concepts établis à des niveaux d'organisation déjà envisagés, parcelle et exploitation agricole en particulier. Mais ils les intègrent dans une vision plus globale des décisions à l'échelle des territoires, et peuvent ainsi participer à des enrichissements conceptuels à ces échelles. C'est le cas des travaux notamment de Le Bail et Le Gal sur le pilotage de la qualité dans les bassins de collecte des industries de transformation des produits agricoles. Ces travaux sont en filiation avec des travaux d'agronomes antérieurs (Caneill et Capillon en particulier), et ont bénéficié d'une interaction forte avec les économistes, notamment autour des notions de cahier des charges industriel et de contrat. En ajoutant des dimensions de caractérisation agronomique des parcelles du bassin à leur simple position géographique, mais surtout en faisant de ce bassin le lieu d'articulation entre les décisions des agriculteurs et celles de l'industriel sur un espace donné, ils renouvellent complètement l'idée de bassin de collecte, qui n'était finalement que la désignation du rayon d'action d'un organisme de collecte, en définissant ce que Le Bail appelle le concept de « système local d'approvisionnement ». Ce système articule un espace technique (ensemble de parcelles), un espace décisionnel (les stratégies et règles de décision des acteurs) et un espace de négociation, englobant « les objectifs de production du système local d'approvisionnement et les modalités de coordination horizontale et verticale entre acteurs pour les atteindre » (Le Bail *et al.*, 2006). Ce concept, d'une grande richesse pour permettre la gestion des approvisionnements, notamment en ce qui concerne la qualité des produits, n'a pratiquement pas trouvé d'équivalent dans le domaine de la gestion des questions environnementales.

Ainsi l'ouvrage déjà cité *Agronomes et territoires*, qui rassemble des contributions de géographes, d'écologues et d'agronomes, ne fait mention que d'un concept agronomique spécifique, celui d'« unité agrophysionomique » (Thinon, 2005b), développé notamment par Deffontaines et Thinon (2001) qui distinguent les « unités agronomiques », qui « sont des portions de territoires de relative égale organisation spatiale des usages agricoles », des « unités agrophysionomiques », définies comme « portions de territoire de relative égale apparence ». Ce concept, dont la vocation est essentiellement diagnostique plutôt que de pilotage de l'action, permet d'identifier des portions de territoire correspondant à des usages agricoles homogènes, et présentant de ce fait un certain « faciès ». Bien que très présents sur une large gamme de types de production (prairies et parcours, grande culture, maraîchage) et d'enjeux environnementaux (qualité des eaux, ruissellement et érosion, biodiversité, etc.), les agronomes ont finalement peu produit conceptuellement sur la question de la gestion des territoires en relation avec des questions environnementales. On peut y voir sans doute le reflet d'une difficulté liée à la multiplicité des acteurs de gestion territoriale et des espaces de décision. Ils ont su néanmoins, là aussi, utiliser des concepts issus d'autres disciplines. C'est le cas du système agraire, concept issu de la géographie, qui caractérise comment les rapports sociaux déterminent les conditions d'accès des agriculteurs aux ressources productives (foncier, eau d'irrigation, moyens de production) et à leur reproduction (Cochet, 2011). Il a été utilisé dans des collaborations entre agronomes et géographes pour élaborer un projet territorial agro-environnemental (Soulard et Kockmann, 2012).

⏩ Conclusion

L'agronomie s'est construite, au cours des soixante-quinze dernières années, comme une discipline permettant d'appuyer l'action en agriculture. À une époque où les préoccupations sociétales assignaient à cette dernière des finalités de rendement et de rentabilité de l'activité, elle s'est construite sur la base d'un dialogue avec des disciplines voisines, lui fournissant des concepts dont elle s'est fait le creuset. En liant ces concepts, elle en a accru la portée, permettant l'émergence de l'objet « champ cultivé », dont la compréhension de plus en plus complète a nécessité à son tour un constant enrichissement conceptuel. Ainsi en particulier de l'apparition des travaux sur le couvert végétal dans les années 1970, et de la prise en compte des composantes biotiques de l'agroécosystème trois décennies plus tard. Ces enrichissements porteurs d'une densification du capital de connaissances agronomiques furent générateurs en parallèle d'une capacité accrue de raisonnement des techniques culturales. Dans un deuxième temps, l'ambition d'être capable d'appuyer l'action a dégagé la nécessité d'investiguer les lieux de l'action (la parcelle agricole), puis rapidement ensuite celle de caractériser les actions menées par les agriculteurs. L'apparition des concepts-clés des agronomes (système de culture, itinéraire technique, modèle d'action) dans ce registre a permis à la fois de renouveler la manière de penser l'appui à l'action, et de considérer sous un jour nouveau des problématiques agronomiques nécessitant un raisonnement organisé dans le temps. Le renouvellement des attentes sociétales vis-à-vis de l'agriculture a enfin obligé les agronomes à un élargissement des objets d'intérêt et des concepts nécessaires à leur manipulation, renouvelant simultanément la production de connaissances sur le fonctionnement des agroécosystèmes.

Très brièvement résumé, ce tour d'horizon sur plus de sept décennies des évolutions que nous avons décrites trace en quelque sorte une ébauche cartographique de la discipline. C'est dans les chapitres qui suivent que seront décrites la manière dont les évolutions des approches, méthodes et outils, ainsi que les interactions avec d'autres disciplines, permettent d'investir les nouveaux champs de l'agronomie, selon des échelles et niveaux d'organisation variés et dans une permanente quête d'innovation. La seconde partie permettra quant à elle d'apprécier comment cette évolution de l'agronomie est le fruit d'interactions constantes avec la société, qu'elle y joue le rôle d'un ferment ou qu'elle soit à la remorque de ses mouvements, qu'elle y soit entravée ou au contraire stimulée. Sans déflorer donc le « comment » et le « pourquoi », cette cartographie nous renseigne néanmoins sur l'évolution de la nature de l'agronomie, sur son « être ». L'« être » actuel de l'agronomie c'est, de manière insécable, consubstantielle, une discipline à la fois scientifique *et* technique – ce dont Hatchuel (2012) a clairement tiré les conséquences épistémologiques. Une discipline permettant d'accroître les connaissances sur le fonctionnement du monde utiles pour la mise en œuvre des pratiques agricoles ; et un corps de règles – évolutives – pour l'agriculture. Pour reprendre une classification proposée par Boiffin et Lemaire (1993), l'agronomie intervient avec d'autres et selon cette double valence dans trois grands domaines où sa pertinence n'est pas discutée : le fonctionnement des couverts végétaux, l'impact des pratiques sur les états du milieu, la gestion des agroécosystèmes. Au début de la période qui nous occupe en revanche, la définition de l'agronomie, on l'a vu, n'était pas stabilisée. Sur le plan scientifique, sa distinction d'avec des disciplines voisines n'était pas assumée, ni son identification dans l'agronomie au sens large – les sciences agronomiques. Il existait par ailleurs sans aucun doute un

corps de règles pour l'agriculture, mais dont l'agronomie n'était pas le nom. Son évolution était d'ailleurs le produit d'innovations dont les agriculteurs étaient encore sans doute les premiers acteurs : ils les formulaient, les mettaient en œuvre, les évaluaient, les adoptaient – ou pas. Les innovations retenues intégraient les corpus de règles régissant la conduite de l'activité agricole. C'est l'expérience, au double sens de tentative et de capital acquis, qui était le moteur des transformations des agricultures, l'appui de la science étant sans doute discret.

Ainsi, la brève histoire présentée ci-dessus donne finalement à voir le passage d'une discipline scientifique floue à une discipline scientifique et technique identifiable et reconnue. Cette trajectoire peut, de manière évidemment caricaturale compte tenu de la richesse des évolutions, être résumée en trois processus : filiation/genèse, émancipation/cristallisation, déploiement. Le premier temps correspond à une maturation progressive des idées qui vont émerger ultérieurement. Nourries des connaissances issues d'autres disciplines à travers des filiations multiples, motivées par la volonté d'être utile pour une amélioration de la production agricole, les idées d'approche systémique, de diagnostic, de confrontation à la parcelle agricole, mûrissent progressivement jusque dans les années 1960. La décennie des années 1970 consacre l'émancipation vis-à-vis d'autres disciplines, en cristallisant la discipline agronomie autour des deux cœurs que sont le fonctionnement de l'agroécosystème et l'action de l'agriculteur ; simultanément, cette cristallisation établit la jonction entre la science et le corpus de règles, ouvrant sur la double dimension scientifique et technique. Enfin, cette (double) dualité permet un élargissement considérable des domaines et objets pour lesquels une légitimité est reconnue à l'agronomie : l'approche systémique incluant les acteurs et finalisée par l'action, dans laquelle l'agroécosystème anthropisé n'est pas vu uniquement comme un objet dont l'agronomie doit contribuer à comprendre le fonctionnement, mais également comme un objet dont elle doit permettre le pilotage, est féconde. Elle permet de contribuer avec d'autres à apporter des réponses à de nouvelles questions liées à l'activité agricole ; mais, précisément parce que ces questions se renouvellent, l'agronomie vit en régime d'instabilité chronique. Il suffit pour l'illustrer de se référer aux grands enjeux actuels pour l'agriculture : atténuation du changement climatique et de l'érosion de la biodiversité, adaptation à ces derniers, modifications des systèmes alimentaires, etc. Quelle place une discipline dédiée à l'appui à l'action en production végétale peut-elle jouer face à ces enjeux ? Pour l'heure, c'est néanmoins ce parcours qui permet à l'agronomie d'être à l'heure actuelle reconnue à la fois sur le plan académique comme une discipline à part entière, produisant de la connaissance générique sur le monde, et distincte d'autres disciplines partageant une partie de ses objets ; et sur le plan professionnel comme une discipline d'ingénierie permettant l'aide à la décision, qu'il s'agisse de la décision des acteurs intervenant directement sur les agroécosystèmes, ou de celle des décideurs intervenant dans l'action publique.

▸▸ Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Classées chronologiquement, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Demolon A., 1956. *Principes d'agronomie. Tome II. Croissance des végétaux cultivés*. Dunod, Paris.

Demolon A., 1960. *Principes d'agronomie. Tome I. Dynamique du sol*. Dunod, Paris.

Hénin S., Gras R., Monnier G., 1969. *Le Profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques*. Masson et Cie Editeurs, Paris.

Maquart D., Gras R., Mamy J., 1971. Essai de programmation de la recherche. Département d'agronomie. *Annales agronomiques*, numéro hors série.

Sebillotte M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers de l'Orstom, série Biologie*, 24, 3-25.

Sebillotte M., 1978a. Cours polycopié d'agronomie de 1re année à l'INA P-G. INA P-G, ronéoté.

Vissac B., Hentgen A., 1979. Présentation du département de recherches sur les systèmes agraires et le développement. *In* : *Éléments pour une problématique de recherche sur les Systèmes agraires et le développement*. Inra, ronéoté, 6-12.

Hénin S., 1980a. Rapport du groupe de travail Activités agricoles et qualité des eaux. Ministère de l'Agriculture, ministère de l'Environnement, Paris.

Meynard J.M., 1985. Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse de docteur-ingénieur, INA P-G, Paris.

Cerf M., Sebillotte M., 1988. Le concept de modèle général et la prise de décision dans la conduite d'une culture. *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture*, 74 (4), 71-80.

Boiffin J., Lemaire G., 1993. Département d'Agronomie. Schéma directeur : 1993-1997. Ronéoté, Inra, Paris.

Deffontaines J.P., Thinon P., 2001. Des entités spatiales significatives pour l'activité agricole et pour les enjeux environnementaux et paysagers : contribution à une agronomie du territoire. *Cahiers de l'environnement de l'Inra*, 44, 12-38.

Duru M., Cruz P., Magda D., 2004. Using plant traits to compare sward structure and composition of grass species across environmental gradients. *Applied Vegetation Science*, 7, 11-18.

Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (Eds.), 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref.

Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J., 2006. *L'Agronomie aujourd'hui*. Éditions Quae, Versailles.

Brisson N., Levrault F., 2010. *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010)*. Ademe Éditions, Angers.

Boiffin J., Benoît M., Le Bail M., Papy F., Stengel P., 2014. Agronomie, espace, territoire : travailler « pour » et « sur » le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie. *Cahiers agricultures*, 23 (2), 72-83.

Makowski D., Nesme T., Papy F., Doré T., 2014. Global agronomy, a new field of research. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 (2), 293-307.

Lescourret F., Magda D., Richard G., Adam-Blondon A.F., Bardy M., Baudry J., Doussan I., Dumont B., Lefèvre F., Litrico I., Martin-Clouaire R., Montuelle B., Pellerin S., Plantegenest M., Tancoigne E., Thomas A., Guyomard H., Soussana J.F., 2015. A social-ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 68-75.

Chapitre 2

Évolution des approches, méthodes et outils de l'agronomie

Jean Boiffin, Jacques Caneill,
Antoine Messéan, Guy Trébuil

Depuis 1945, le domaine de l'agronomie s'est étendu, ses objets d'étude se sont diversifiés et son bagage conceptuel s'est enrichi : le chapitre précédent a mis en évidence l'accroissement considérable de ce dont traite l'agronomie. Dans le même temps, ses démarches ont elles aussi fortement évolué, du triple point de vue des approches, c'est-à-dire des façons d'aborder et poser les problèmes, des méthodes, qui concernent les cheminements, processus et règles de raisonnement mis en œuvre, et enfin des outils permettant cette mise en œuvre – appareils de mesure, équipements, logiciels, procédures d'observation ou de calcul. Le tableau 2.1 en donne un aperçu synoptique. Qu'ils aient été empruntés à d'autres disciplines, ou conçus en fonction des objectifs et à partir des notions propres à l'agronomie, la genèse et la mise en œuvre de ces approches, méthodes et outils, et leur combinaison sous forme de démarches, nous semblent révélatrices et/ou génératrices de mutations profondes de la discipline et de la nature des métiers qui l'incarnent : c'est en quelque sorte l'ADN de l'agronomie qui s'est ainsi modifié.

Tableau 2.1. Traits marquants de l'évolution des démarches mises en œuvre en agronomie.

Période	Approches	Méthodes	Outils
1945-1970	Normalisation des bonnes pratiques (régionalisée) Diagnostic-conseil (travail du sol, fertilité physique et chimique, accidents culturaux) Prescription raisonnée (fertilisation PK et amendements)	Expérimentation et analyse de variance : diversification et sophistication des plans d'expérience Couplage des analyses de terre et de plante avec les courbes de réponse aux engrais Profil cultural (en tant que méthode) Composantes du rendement Relevés floristiques	Équipements et procédures pour : – l'échantillonnage des sols et des plantes – l'extraction et le dosage des éléments ou composés – les relevés météorologiques – les tests tactiles, comptages manuels et observations visuelles Calculatrices électromécaniques

Période	Approches	Méthodes	Outils
1970-1980	Extension des approches ci-dessus aux autres sujets techniques, développement de l'approche systémique (niveaux station-parcelle et exploitation)	Bilan prévisionnel de l'azote Enquêtes et analyses de données Combinaison enquête-expérimentation Typologies des exploitations agricoles de petites régions	Radiométrie du couvert et micrométéorologie Appareils et mesures de physique du sol Informatisation des calculs Guide d'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole
1980-1990	Extension au thème équipement-organisation du travail et aux premiers sujets environnementaux (niveaux exploitation, aires d'épandage, petits bassins hydrologiques)	Modélisation (modèles de fonctionnement de couverts, modèles compartimentaux de dynamiques de l'eau et des éléments dans le sol, etc.)	Informatisation (PC) accessible à tous (saisie et gestion des données, traitements statistiques, sorties graphiques, etc.) Automatisation des acquisitions de données (capteurs, saisies portables) Télédétection agricole Systèmes d'information géographique (applications agricoles)
1990-2000	Poursuite de l'extension thématique (environnement, qualité), spatiale et organisationnelle (niveaux bassin, paysage, territoire) Accompagnement (principalement collectifs d'agriculteurs)	Modélisation : – « grands modèles » informatico-mathématiques – modèles décisionnels – modèles dynamiques et spatiaux – modèles individus-centrés – systèmes multi-agents Analyse multicritère : ACV appliquée à l'agriculture	Indicateurs environnementaux Bases de données relationnelles Équipements et logiciels pour l'agriculture de précision Différents types de plateformes de modélisation
2000-2020	Accompagnement (multi-acteurs) Toutes approches : extension aux échelles et niveaux d'organisation englobants (bassin fluvial, grande région, pays, continent, planète)	Expérimentation virtuelle Modélisation et simulation participatives Méthodes d'analyse multicritères (autres qu'ACV) Méta-analyses	Association de modèles informatiques et de jeux de rôle *Big data* (très gros jeux de données, traitements statistiques sans *a priori*, objets connectés, etc.)

Les indications portées dans le tableau correspondent à l'émergence ou au développement (inédits en agronomie, même s'ils sont parfois très antérieurs à la période mentionnée) de certains types d'approches, méthodes ou outils, sans exclure que ceux déjà apparus continuent à être mis en œuvre et perfectionnés.
ACV : analyse de cycle de vie.

L'évolution des démarches est à l'évidence très liée à celle des objets, dont elle est à la fois cause et conséquence, à des degrés divers selon les thèmes. Mais aborder l'évolution des démarches par l'entrée thématique fait courir le risque de ne percevoir dans

cette évolution qu'une diversification illimitée et cumulative, débouchant sur une vision kaléidoscopique. Nous préférons l'appréhender de façon autonome, en identifiant des dynamiques transversales par rapport aux différents thèmes, et qui ressortent de la confrontation d'expériences vécues dans différents contextes professionnels.

Ces dynamiques transversales constitueront la trame de ce chapitre. Chacune d'elles concerne simultanément, et selon les cas à des degrés divers, les approches, méthodes et/ou outils de l'agronomie. Elles portent respectivement sur :
– la problématisation agronomique, c'est-à-dire la façon dont sont formulés et abordés les problèmes agricoles par les agronomes ;
– la prise en charge de la complexité des objets abordés ;
– la structuration des dispositifs d'étude face à la variabilité des contextes ;
– l'impact de la révolution informatique et numérique sur l'acquisition, le traitement et la gestion des données ;
– et la globalisation des connaissances agronomiques.

Nous nous interrogeons en conclusion sur les conditions à remplir pour que l'évolution des démarches engendre un renforcement de l'agronomie.

Assumer la relation agronomie-agriculture : évolution des approches techniques

Discipline à la fois scientifique et technique, l'agronomie établit un lien à double sens entre connaissance et action. La nature et la forme de sa relation avec l'agriculture et les agriculteurs dépendent elles-mêmes de la façon dont sont identifiés et posés les problèmes à résoudre. Au cours de la période étudiée, cette approche des questions techniques a considérablement évolué, en corollaire d'une modification du positionnement de l'agronome vis-à-vis du praticien. Schématiquement, on se déplace sur un gradient qui va de l'agronome-savant, dont le savoir est fortement déconnecté des pratiques, à l'agronome-expert qui délivre des prescriptions plus ou moins sectorielles, puis à l'agronome-clinicien qui observe et écoute pour établir des diagnostics et élaborer des conseils, pour arriver à l'agronome-médiateur, acteur avec et parmi d'autres d'un processus d'innovation et d'adaptation des pratiques dont la complexité est désormais mieux reconnue. Il serait caricatural de considérer que ce gradient correspond à une succession chronologique. À chaque période, ces différentes modalités se sont combinées en proportion variable[1] durant la vaste dynamique d'essai-erreur mutualisée qui caractérise le processus de développement agricole français[2]. Malgré tout, la tendance générale semble avoir été conforme à ce gradient. Le début de la période couverte par cet ouvrage voit une forte prédominance des deux premiers positionnements

1. Dans ses pratiques didactiques, Mathieu de Dombasle les incarne toutes à lui seul (Benoît et Knittel, 2017). Il en était sans doute de même pour Olivier de Serres.

2. Voir chapitre 8. Sous l'influence des syndicats agricoles mais aussi des mouvements d'éducation et d'animation rurales d'inspiration religieuse (particulièrement la Jeunesse agricole chrétienne, JAC) ou laïque, tels que les Centres d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural (Civam), les organismes de développement ont structuré le développement agricole, y compris dans ses aspects techniques, sur un mode collectif avec des groupes d'expérimentation et d'échanges sur les retours d'expérience : Centres d'études techniques agricoles (CETA) et Groupements de vulgarisation agricole (GVA) notamment. Les structures nationales et leurs organes de presse, ainsi que les très nombreuses revues techniques locales ou nationales, ont assuré la synthèse et l'élargissement de la diffusion des principaux résultats prometteurs qui se dégageaient.

susmentionnés. Quant à l'agronome-médiateur, il n'apparaît de façon explicite dans les profils de recrutement qu'après l'an 2000. Cette émergence n'est pas sans lien avec la propagation dans les sphères agronomiques, au cours des années 1990, d'une intense dynamique de recherche sur les processus d'innovation, se conjuguant avec la montée des approches participatives.

La normalisation des « bonnes pratiques »

Jusqu'au début des années 1960, l'agronomie n'est pas encore vraiment structurée (chapitre 1). Elle dispose déjà d'une masse considérable de connaissances académiques sur ses principaux objets : climat, sol, plante, techniques. Mais les liens entre ces objets sont faibles, et à cet égard c'est le pôle « techniques culturales » qui est le parent pauvre. Cela ne veut pas dire que les agronomes ne s'y intéressent pas ou n'en ont pas une appréhension pertinente, mais leur analyse des pratiques reste plus ou moins déconnectée des connaissances scientifiques sur la plante, le milieu et leurs interactions. La principale approche consiste à repérer et diffuser les pratiques auxquelles leur semblent associés de bons résultats. Les connaissances sur la plante et le milieu sont surtout utilisées comme clés de généralisation et d'extrapolation de ces correspondances, et guère pour les expliquer. Dès lors, l'extrapolation ne peut être que relativement limitée dans l'espace. Nombreux sont encore les agronomes qui reprennent à leur compte la formule qualifiant l'agronomie de « science de localité ».

L'un des exemples les plus caractéristiques des démarches correspondant à ce positionnement est l'élaboration de différents types de monographies régionales par les services départementaux du ministère de l'Agriculture, par les stations agronomiques, la plupart d'entre elles désormais incluses dans l'Inra, ou par tout autre organisme public ou privé (firmes d'engrais notamment) détenteur de compétence en agronomie. Le plus souvent, ces monographies incluent des cartographies du milieu, qui constituent la base d'une délimitation des unités redevables des mêmes normes, autrement dit des mêmes recettes phytotechniques. Ainsi, les monographies départementales attribuent aux petites régions agricoles définies par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) des « vocations agricoles », ce qui revient à considérer que les cultures qui y sont pratiquées sont les mieux adaptées au contexte. De nombreux mémoires publiés dans les *Annales agronomiques* reprennent cette trame pour l'affiner en distinguant au sein des petites régions des sous-unités correspondant à des types de sol différents, au regard des classifications pédogénétiques alors très en vogue (voir par exemple Riedel et Franc de Ferrière, 1951a). La composante agronomique de cette démarche se borne souvent à un constat de l'existant, qui va parfois jusqu'à repérer dans chaque sous-région les « meilleurs agriculteurs » et leurs pratiques, voire à donner des indications sur les réponses des cultures aux différents types de fertilisants.

Au niveau du développement agricole, cette démarche de repérage et de préconisation des « bonnes pratiques » est dans un premier temps celle qui prévaut dans les directions des services agricoles (DSA) en charge de la « vulgarisation ». À la suite des lois d'orientation et de l'intensification de la dynamique collective d'expérimentation et d'échange qui en est le corollaire (chapitre 8), elle va à la fois prendre une tout autre dimension, et prendre en compte les techniques culturales de façon plus systématique et détaillée, tout en restant marquée par la liaison directe technique-rendement. Il est enfin à noter que l'approche qui sous-tend ce type de démarche n'a pas disparu et est

encore de nos jours parfois perçue comme une voie directe et efficace d'amélioration des pratiques. Ainsi, dans le cadre du plan Écophyto de réduction d'usage des pesticides lancé à la suite du Grenelle de l'environnement (ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2008), la tentation a été forte d'établir un raccourci entre les niveaux de performances agroécologiques et technico-économiques observés dans certaines situations, et la préconisation de « systèmes de culture économes et performants » dans une région donnée (Guichard *et al.*, 2017). La façon dont sont fixées les composantes agronomiques des cahiers des charges des appellations d'origine protégée (AOP) relève aussi parfois d'une liaison directe technique-qualité et typicité, étendue à une aire prédéfinie.

La prescription raisonnée

Un véritable continuum entre théorie et pratique s'est établi, bien avant 1945, dans le domaine de la nutrition minérale des plantes et de la fertilisation aboutissant à des recommandations d'usage des engrais formalisées de façon précise. Dans la 5e édition de *Dynamique du sol* (1952), Demolon énonce les principes de base de la fertilisation raisonnée, qui pour les éléments dits « majeurs » (P et K) distingue les deux termes d'entretien et de redressement. Il propose un système d'évaluation quantitative de ces derniers basé d'une part sur des calculs de bilan import-export, et d'autre part sur la correspondance entre courbes de réponses et analyses de terre. Ce schéma de raisonnement est largement repris dans les ouvrages de vulgarisation tels que le *Guide pratique de la fertilisation* (Gros, 1960). Mais pour les autres éléments minéraux, notamment la fertilisation azotée, et plus largement les autres sujets techniques, on reste encore à des considérations certes savantes mais évasives, laissant le champ libre à l'empirisme.

Cependant, sous des formes plus ou moins frustes, une prescription à la fois techniquement engagée et scientifiquement argumentée, à défaut d'être vraiment formalisée, apparaît progressivement dans d'autres domaines : révolution fourragère, drainage, choix variétal, irrigation, correction de l'acidité des terres, etc. Tout en s'affranchissant des pratiques existantes, voire en les contestant, et en s'appuyant de plus en plus sur l'expérimentation comparative, elle reste basée sur la relation directe technique-rendement. Les succès enregistrés résultent du fait que de nombreuses situations agricoles sont à l'époque conformes au paradigme du facteur limitant. Même si par la suite ce dernier s'avérera contestable du point de vue théorique, il rend compte de la réponse des cultures aux engrais dans les vastes étendues de sols très carencés en un élément particulier (le phosphore en Champagne crayeuse, le cuivre en Bretagne, etc.). Dans le cas des sols très hydromorphes ou très acides, le drainage ou le chaulage sont des préliminaires qui conditionnent la réussite de toute autre innovation technique. La « révolution fourragère » des années 1950 comporte elle aussi des préconisations assez simples et normatives. La délimitation et la clôture des pâturages et la substitution de prairies temporaires semées aux prairies permanentes sont à elles seules de véritables ruptures technologiques engendrant des bonds de productivité.

À partir de cette phase préliminaire, l'expertise agronomique se base sur une appréhension de plus en plus explicative du fonctionnement de l'agroécosystème, qui continue à concerner de façon privilégiée le domaine nutrition minérale-fertilisation, tout en progressant sur d'autres thématiques (chapitre 1). Le corollaire est que les prescriptions issues de cette expertise sont non plus régionalisées, mais paramétrées en

fonction de certaines caractéristiques des plantes et/ou du milieu. Elles sont énoncées non plus comme des recettes locales, mais sous forme de relations logiques (parfois mathématiques) de portée générale. Le caractère local se reporte ici sur les valeurs des variables d'« entrée » (qu'il faut donc mesurer ou observer, par exemple la teneur en élément minéral disponible dosée sur un échantillon de sol prélevé *in situ*) et de certains paramètres (par exemple le pouvoir fixateur déduit de la texture du sol de la station où est effectué le prélèvement). Même si elle s'est opérée progressivement, cette émancipation du raisonnement par rapport à l'acquisition de références locales peut être considérée comme un véritable saut qualitatif. Elle est typiquement illustrée par l'évolution des préconisations de la fertilisation dans les années 1970 : la correspondance entre les analyses de terre et les courbes de réponse n'est plus inféodée à la région, mais à un certain nombre de paramètres mesurables ou qu'il est possible d'estimer à partir des caractéristiques de composition du sol (Morel *et al.*, 1992). Les protocoles sont sinon universels, en tout cas communs à de nombreuses régions. Le mode d'obtention des références s'en trouve radicalement modifié, avec au passage une réduction drastique du nombre d'essais réalisés sur la fertilisation : jusqu'au milieu des années 1970, les firmes d'engrais et les organismes de développement réalisent chaque année en France, pour chacune des principales espèces cultivées, des centaines d'essais dont les « synthèses » publiées sont en fait des compilations de courbes de réponse régionalisées. Elles débouchent sur des préconisations de surfertilisation systématique, du fait de l'extrême variabilité des courbes de réponse et de leur caractère inexpliqué. Ce seront ensuite les instituts techniques qui assureront le leadership de l'acquisition des références, discutées et synthétisées dans le cadre du Comité français pour le développement de la fertilisation raisonnée (Comifer).

Un deuxième saut qualitatif dans le développement de l'approche de prescription raisonnée est l'inversion des relations que permet d'établir le progrès des connaissances scientifiques entre les variables d'intérêt agronomique, les caractéristiques du milieu et les données techniques. Initialement, la variable à expliquer ou à prédire (en général le rendement) est exprimée en fonction de variables explicatives caractérisant le milieu ou les techniques, idéalement sous forme de relations bien formalisées et à l'extrême d'équations, qui permettent de répondre aux questions de type « que se passe-t-il si ? ». Si on inverse l'équation, ce n'est plus le rendement qui est à expliquer ou à prédire, mais les modalités techniques pour y parvenir, en fonction de rendements ou autres performances fixés comme objectifs ; on répond alors à « que faut-il faire pour ? ». Le schéma énoncé par Demolon à propos de la fertilisation P-K est déjà proche de cette inversion, mais sous une forme littéraire. À la fin des années 1960 apparaît une prescription raisonnée établie sous forme d'équations : la recommandation des fumures azotées basée sur le bilan prévisionnel de l'azote du sol, en abrégé « méthode du bilan » (Hébert, 1969 ; Rémy et Hébert, 1977). Elle est le fruit d'une considérable accumulation de résultats expérimentaux obtenus dans les stations agronomiques, mais aussi et surtout des travaux de Hébert au cours des années 1960. À partir d'investigations plus fines sur l'évolution de l'azote dans le sol, ce dernier parvient à organiser et hiérarchiser toutes les données acquises dans le cadre d'un modèle de bilan. Ce modèle, aujourd'hui considéré comme sommaire, mais toujours valide dans son principe, établit un lien continu et explicite entre les différentes entrées et sorties du cycle de l'azote à l'échelle de la parcelle. Et c'est bien l'inversion de ce modèle qui aboutit à la « méthode du bilan ».

S'appuyant sur une vision très fruste du fonctionnement de la plante, la prescription de fertilisation pouvait être revendiquée autant sinon plus par la science du sol que par l'agronomie comme application de ses recherches. C'est pourquoi un autre pas décisif est atteint grâce aux travaux de thèse de Meynard (1985) qui proposent un raisonnement de l'itinéraire technique de conduite du blé (figure 2.1), incluant non seulement fertilisation azotée, mais aussi choix variétal, date et densité de semis. Des modèles de fonctionnement relatifs à la plante sont mobilisés sur le mode inversé que l'on vient de décrire. La prescription raisonnée s'étend à l'ensemble du système milieu-plante-technique, appréhendé de façon dynamique tout au long du cycle cultural.

À la suite de ces travaux pionniers, et jusqu'à nos jours, le développement de la prescription raisonnée se poursuit dans de multiples directions. Le raisonnement de la fertilisation acquiert un caractère de généricité qui justifie d'instaurer le vocable « fertilisation raisonnée »[3], autour de laquelle se constitue une communauté nationale d'experts, avec la création du Comifer en 1980. Suite aux progrès des connaissances, le raisonnement sera perfectionné et profondément révisé à plusieurs reprises : remise en cause du schéma entretien-redressement pour P-K et prise en compte de la spécificité de réponse des espèces cultivées, détermination des apports d'azote sur la base d'un suivi en temps réel de la nutrition azotée du couvert végétal, nouveau raisonnement de la gestion du statut acido-basique du sol, etc. Ces évolutions s'accompagnent de l'élaboration de générations successives de logiciels qui attestent la capacité de l'agronomie à formaliser ses raisonnements et à les appliquer à une gamme étendue de situations. Les logiciels Ceres (Rémy et Marin-Laflèche, 1974) puis RegiFert (Denoroy *et al.*, 2004) s'appliquent à tous les éléments autres que l'azote, Azobil (Machet *et al.*, 1990) puis Azofert (Machet *et al.*, 2017) s'appuyant sur la méthode du bilan.

L'extension de la prescription raisonnée à d'autres domaines techniques que la fertilisation se fait de façon progressive et très différenciée selon les domaines, en fonction du degré de maturité des connaissances acquises. Outre la conduite du blé déjà évoquée, c'est sans doute dans le cas de l'irrigation, et plus globalement de la gestion quantitative de l'eau, qu'apparaissent le plus précocement et avec le plus d'impact des systèmes de prescription quantitative formalisés (Perrier et Riou, 1985). Dès la première moitié des années 1960, les connaissances acquises permettaient d'établir un lien continu et quantitatif entre production de matière végétale, données climatiques et propriétés du sol, synthétisées dans la notion de réserve utile (Hénin *et al.*, 1960 ; Féodoroff, 1962 ; Inra, 1964). De façon plus imparfaite, le choix variétal a également pu faire l'objet d'une certaine systématisation, de même que les autres décisions relatives à l'implantation des cultures, telles que date et densité de semis (Fleury et Sebillotte, 1974). C'est sur la base de cette extension progressive et prometteuse qu'est apparu à la fin des années 1990 le vocable « agriculture raisonnée », aboutissant à la tentative d'instaurer un système de certification de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement[4].

3. C'est ainsi qu'est intitulé le numéro spécial d'une revue technique de grand renom, *Fermes modernes* (Gachon, 1974b).

4. Dispositif institutionnel (décret d'avril 2002) qui visait à qualifier officiellement les agriculteurs respectant un cahier des charges relatif aux modalités d'adaptation des interventions techniques aux conditions de milieu (notamment de sol et climat), sur la base de raisonnements avalisés par les « experts ». Pour différentes raisons, et malgré la vogue du terme lui-même, le succès de ce dispositif est resté très limité.

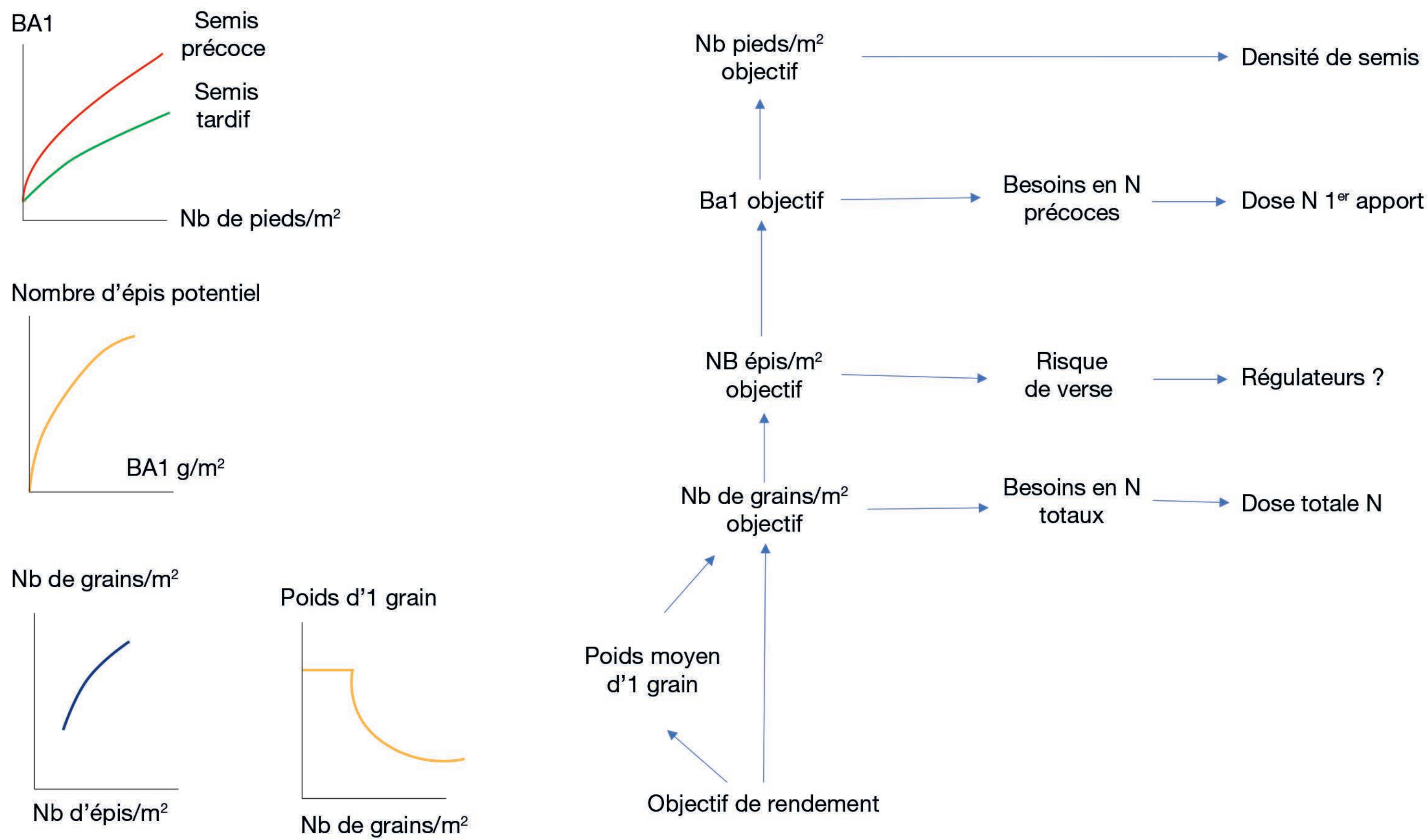


Figure 2.1. Conception d'itinéraires techniques pour le blé d'hiver à partir de modèles d'élaboration du rendement (d'après Meynard, 1985).

BA1 : biomasse aérienne au stade « épi 1 cm ».

La prescription raisonnée se traduit par une relation descendante de l'agronome à l'agriculteur : le premier énonce des préconisations que le second est censé appliquer. Cependant, comme son expertise reste sectorielle, l'agronome ne prétend pas encadrer le praticien dans tous ses actes et décisions. Pour une large part des techniques culturales, le leadership des adaptations et innovations reste dévolu et reconnu à « l'homme de l'art ». Mais, à partir de la fin des années 1980, la prescription raisonnée a pour objectif affiché de produire dans de nombreux domaines des outils d'aide à la décision (OAD). L'agronome considère désormais l'agriculteur non comme un simple exécutant, mais comme un décideur. Les prescriptions doivent donc prendre la forme de règles de décision. Mais l'approche reste autoritaire : l'agriculteur que l'on veut « aider à décider » est prié de bien vouloir substituer les règles scientifiquement fondées aux règles empiriques, et les OAD aux façons de faire transmises de père en fils ou entre voisins. Au terme de cette évolution, l'agronome serait devenu l'éminence grise de l'agriculture raisonnée, la production d'OAD devenant pour l'agronomie un débouché systématique, lui donnant prise sur l'innovation agricole. Dès le début des années 1990, certains agronomes ont élargi leur point de vue et pris du recul par rapport à cette vision quelque peu illusoire, à la faveur d'interactions bénéfiques avec les sciences de gestion (chapitre 5). Il est aujourd'hui largement reconnu que la préconisation doit non pas se substituer, mais s'intégrer au processus de décision des acteurs, ce processus devant lui-même être considéré comme objet d'étude (Cerf, 1996). Cette prise de recul n'aboutit nullement à renier la valeur heuristique de la prescription raisonnée, cadre d'accueil et force d'appel stimulants pour le progrès des connaissances en agronomie.

Le diagnostic-conseil

Au cours des années 1950, les changements d'usage des terres et la mécanisation font apparaître de nouveaux problèmes techniques, qui ne relèvent plus de la seule fertilisation et engendrent une variabilité inédite de comportement des cultures, aux causes rarement évidentes. La recherche en agronomie investit alors sur de nouvelles thématiques, notamment la physique du sol appliquée (chapitre 1), qui ne débouchent pas sur le même type d'expertise prescriptive que la chimie agricole. Ainsi, le diagnostic et l'amélioration de l'état physique du sol ne s'articulent pas de façon aussi directe que l'analyse de terre et l'apport d'engrais. Il est alors difficile de recourir d'emblée à l'expérimentation phytotechnique comparative : sur quoi expérimenter ? Quelles variantes faut-il comparer ? Les démarches de repérage, d'identification et de hiérarchisation des problèmes prennent alors plus d'importance et ne sont plus de simples préliminaires pour cadrer les programmes d'essais en station.

Dans ce contexte émerge une attitude nouvelle, analogue à celle du médecin généraliste. L'agronome aborde la réalité du champ cultivé, sans contrôle expérimental et sans choix *a priori* du thème technique à traiter. En valorisant la diversité des situations culturales offertes par le contexte agricole, il cherche à élucider l'origine des écarts de performance en les rattachant d'abord aux facteurs et conditions de milieu, puis aux actions techniques qui les ont modifiées plus ou moins favorablement. Ce diagnostic permet de cibler les modifications à apporter aux interventions techniques, qui ne sont pas les mêmes d'une parcelle à l'autre. Le conseil qui en résulte n'est plus une prescription normative, il est étayé par une interprétation des symptômes observés

in situ et modulé en fonction de chaque situation particulière. Les observations sur l'état du milieu et des cultures doivent être pertinentes et répétables, pour caractériser des symptômes et les corréler à des données relatives au climat, au sol et aux techniques. Ce qui est transposable d'un lieu à l'autre, ce n'est plus la combinaison performances-pratiques observée chez les « meilleurs » agriculteurs du voisinage, mais la méthode d'observation et le processus de diagnostic ; ce sont eux qui doivent faire l'objet d'une généralisation.

La publication de la première édition du *Profil cultural* (Hénin *et al.*, 1960) peut être considérée comme le jalon qui marque l'émergence de ce type d'approche. Plusieurs passages de cet ouvrage relatent des enquêtes de terrain, souvent menées à l'initiative d'ingénieurs des services agricoles pour élucider des situations difficiles à comprendre. Les auteurs insistent sur le fait que ces études doivent répondre à des exigences de rigueur, aussi bien dans le choix que dans l'observation des situations étudiées, en raison des multiples facteurs qui interviennent et des risques de confusion d'effets qui en découlent. Ils en déduisent la nécessité de fournir aux investigateurs des méthodes d'observation systématique. S'agissant du sol, ce sera la méthode[5] dite du « profil cultural », qui à ce stade n'est qu'une ébauche assez sommaire, mais permet de détecter certains accidents majeurs alors très fréquents en raison de la multiplicité des façons culturales et des faibles largeurs de travail du sol.

Au cours de la décennie qui suit, au sein du premier cercle des collaborateurs de Hénin, l'approche de diagnostic-conseil est activement développée. L'observation du profil cultural est leur marque de fabrique et ils cherchent à l'affiner pour mieux analyser les relations sol-plante, ce qui implique particulièrement de mieux observer l'enracinement (voir par exemple Deffontaines, 1964a). Même si les thèmes liés à la physique du sol restent leur domaine de prédilection, les disciples de Hénin étendent et appliquent cette approche à d'autres sujets, et appréhendent la variabilité sur une gamme de situations de plus en plus étendue. Ainsi, le tour de plaine (Sebillotte, 1969) est un parcours planifié de tout ou partie des parcelles d'une exploitation agricole, qu'il faut préparer en établissant au préalable des grilles d'observation sur les différents thèmes pour lesquels des décisions sont à prendre à un moment donné. L'étude des « potentialités agricoles régionales », activement développée par Deffontaines (1964b ; 1965), est un autre type d'extension à la fois spatiale et thématique. Elle traduit l'ambition d'apporter aux services de développement des méthodes opérationnelles en valorisant la variabilité observable des rendements. Cependant, le caractère global de cette donnée fait que le diagnostic des potentialités reste souvent trop grossier pour identifier les facteurs techniques de sa variabilité. À la demande de Hénin, Sebillotte et la jeune équipe de la chaire d'agriculture de l'Institut national agronomique (INA) cherchent à développer l'analogue pour la culture du profil cultural pour le sol, c'est-à-dire une façon de décrire le couvert végétal à l'échelle stationnelle qui puisse être mise en relation avec l'historique cultural : ce sera l'étude des composantes du rendement, qui permet de déterminer les périodes et causes probables des perturbations subies par la culture, ou pour les améliorateurs des plantes d'analyser les différences

5. Le terme « profil cultural » a deux acceptions : il désigne soit un concept, c'est-à-dire une façon d'appréhender le sol différente et complémentaire du profil pédologique, soit la méthode de description qui permet de relier les états du profil à l'histoire culturale et climatique de la parcelle.

de comportement entre variétés[6]. Pour l'étude des prairies, les méthodes existantes de caractérisation botanique sont mobilisées pour mettre en relation les compositions floristiques avec les modes de conduite (Delpech, 1960; Daget et Poissonet, 1971). De façon plus ou moins aboutie, chacun de ces travaux pionniers tente de proposer des règles pour le choix et la description des situations observées. C'est bien une autre façon de faire de l'agronomie dont les disciples de Hénin se sentent porteurs, et qu'ils cherchent à mettre en œuvre dans des contextes agricoles aussi divers que possible : non seulement cultures annuelles, mais aussi fourrages, prairies, vergers et autres, formes d'agriculture plus ou moins « modernes », diverses régions de France métropolitaine, mais aussi d'outre-mer à travers l'Orstom où Hénin est très influent (chapitre 6).

Les vingt années qui suivent voient cette entreprise se déployer beaucoup plus largement. Une véritable approche clinique s'instaure, à la faveur de trois dynamiques concomitantes. Au niveau de la recherche, l'analyse explicative des relations plante-milieu s'étend à l'ensemble des composantes du milieu[7]. Ces acquis offrent la possibilité d'affiner et d'étendre le diagnostic et le conseil non seulement dans le domaine phare que constituaient déjà l'alimentation minérale et la fertilisation, mais aussi bien au-delà sur de nombreux secteurs où l'agronomie restait au mieux dans une posture académique sans rapport avec les pratiques agricoles (chapitre 1). Dans certains établissements d'enseignement supérieur (chapitre 7), ces acquis sont rapidement intégrés dans les contenus, et surtout donnent lieu à des formes pédagogiques originales axées sur l'acquisition et la pratique des méthodes de diagnostic. C'est par exemple le cas de l'INA, où les enseignants-chercheurs de la chaire d'agriculture (qui en 1973 devient chaire d'agronomie de l'INA P-G) élaborent une panoplie d'exercices de diagnostic-conseil, portant sur la plupart des catégories de techniques, et s'appliquant dans le cadre d'études de cas réels rencontrés à l'occasion des stages ou des études d'exploitations ou de petites régions. Les organismes de développement et recherche-développement professionnels récemment créés sont alors en forte attente de démarches pour identifier les besoins des agriculteurs et y répondre en dépassant la vulgarisation (chapitre 8). Les méthodes d'observation et diagnostic stationnels sont de plus en plus largement utilisées, ce qui engendre en retour une dynamique continue de perfectionnement. Ainsi, la systématisation de l'observation du profil cultural initiée par Manichon (figure 2.2) permet une analyse très poussée des effets du travail du sol et de ses interactions avec l'histoire culturale des parcelles (Manichon, 1982b), ainsi que des relations entre état structural du sol et alimentation hydrique (Tardieu, 1984), ou réponse à la fertilisation azotée (Meynard *et al.*, 1981). L'analyse des composantes du rendement, conjuguée à un suivi approprié du milieu et des interventions techniques au cours du cycle cultural,

6. Voir Sebillotte (1963) et Jonard (1964) : deux des tout premiers travaux publiés utilisant cette démarche, qui vaut surtout pour les espèces dont les phases de développement des organes récoltés sont bien distinctes dans le temps (cas des céréales à paille par exemple). Dans les autres cas (pois, colza par exemple), l'analyse des composantes du rendement s'avère beaucoup moins directement efficace pour le diagnostic de terrain. Dans tous les cas cependant, la décomposition entre nombre de pieds par unité de surface et production par pied permet de distinguer la phase d'implantation du reste du cycle cultural.

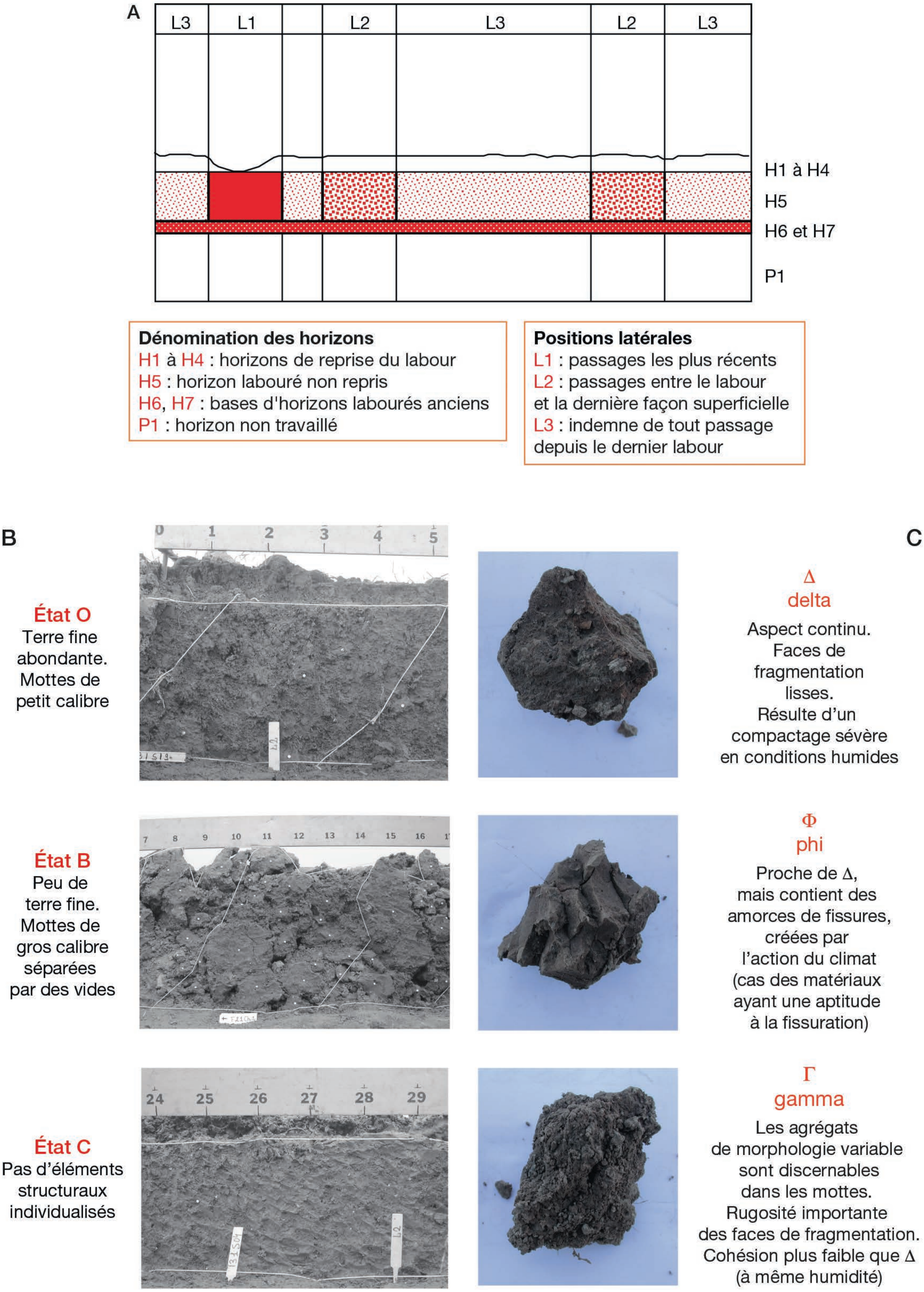
7. À l'exception notable des bioagresseurs, dont les dynamiques d'évolution et l'impact sur la production sont longtemps délaissés par les agronomes, et constituent dès lors le domaine réservé des spécialistes de la protection des plantes, avant de faire l'objet d'un réinvestissement, initié sur la dynamique des adventices (Debaeke, 1987).

est pratiquée dans le cadre de nombreuses études régionales, débouchant sur des diagnostics et actions techniques de portée collective (encadré 2.1). L'approche des terroirs développée à partir du milieu des années 1970 sur les vignobles ligériens relève de la même dynamique, en substituant à la liaison directe milieu-qualité une analyse écophysiologique de la chaîne sol-vigne-vendange-vin qui débouche sur une délimitation opérationnelle, affinée et objectivée, des aires d'appellation (Morlat, 1978 ; 2010 ; Salette, 2014).

Jusqu'au milieu des années 1970, la majorité de ces études se situent aux niveaux station-parcelle (chapitre 3) et le diagnostic s'arrête aux interventions techniques directement à l'origine des écarts de performance : les décisions qui les ont engendrées sont encore hors champ. Mais dès lors que ces interventions techniques sont considérées comme « combinées de façon logique et ordonnée » au sein d'itinéraires techniques, de systèmes de culture et de systèmes de production (Sebillotte, 1978b ; 1982), le diagnostic remonte plus en amont. En effet, certains problèmes observables aux échelles station-parcelle trouvent leur origine aux niveaux d'organisation supérieurs (chapitre 3), notamment dans les modalités d'organisation du travail et les choix d'équipement, eux aussi très variables entre exploitations d'une même région. Dès le début des années 1970, les étudiants de l'INA étaient initiés à l'analyse des « jours disponibles » et de leurs relations avec l'assolement et l'équipement des exploitations. Des comparaisons interexploitations étaient amorcées. Mais un pas décisif dans l'appréhension de la dimension exploitation et dans l'application de l'approche diagnostic-conseil à ce niveau sera franchi au début des années 1980, avec le développement de typologies régionales des exploitations agricoles basées sur l'analyse de leur fonctionnement technique, ce dernier étant relié aux objectifs stratégiques et aux trajectoires d'évolution (Capillon et Tagaux, 1983 ; Capillon et Manichon, 1991 ; Capillon, 1993). Ces typologies permettent de mieux identifier et prioriser les actions de développement en fonction des groupes d'agriculteurs concernés, et rencontrent un écho favorable auprès des organismes de développement territoriaux (chapitre 8). De façon quasi concomitante, l'extension du diagnostic agronomique se poursuit en remontant aux processus de décision de l'agriculteur (chapitres 1 et 3 ; Gras *et al.*, 1989), là encore en décrivant et en analysant leur variabilité, première étape vers une compréhension plus générale (Sebillotte et Papy, 2010).

Figure 2.2. Le profil cultural, une méthode de diagnostic des états structuraux du sol (Manichon, 1982a ; Gautronneau et Manichon, 1987 ; Boizard *et al.*, 2017).
(A) Stratification en compartiments redevables des mêmes contraintes mécaniques.
(B) Types d'états structuraux dans l'horizon labouré.
(C) États internes des mottes.

La stratification en compartiments renseignée par les états structuraux et les états internes des mottes est un outil puissant de diagnostic. Par exemple en H5L3, un état BΔ est synonyme d'un tassement sévère avant labour. *A contrario*, un état OΓ révèle un effet très faible des contraintes mécaniques engendrées par le système de culture. En H5L1 ou H5L2, un état CΔ témoigne des effets négatifs des passages de façons superficielles à l'implantation des cultures et des passages ultérieurs.


A
L3
L1
L2
L3
L2
L3
H1 à H4
H5
H6 et H7
P1
Dénomination des horizons
H1 à H4 : horizons de reprise du labour
H5 : horizon labouré non repris
H6, H7 : bases d'horizons labourés anciens
P1 : horizon non travaillé
Positions latérales
L1 : passages les plus récents
L2 : passages entre le labour et la dernière façon superficielle
L3 : indemne de tout passage depuis le dernier labour
B
C
État O
Terre fine abondante. Mottes de petit calibre
Δ
delta
Aspect continu. Faces de fragmentation lisses. Résulte d'un compactage sévère en conditions humides
État B
Peu de terre fine. Mottes de gros calibre séparées par des vides
Φ
phi
Proche de Δ, mais contient des amorces de fissures, créées par l'action du climat (cas des matériaux ayant une aptitude à la fissuration)
État C
Pas d'éléments structuraux individualisés
Γ
gamma
Les agrégats de morphologie variable sont discernables dans les mottes. Rugosité importante des faces de fragmentation. Cohésion plus faible que Δ (à même humidité)

À partir du début des années 1990, l'approche diagnostic-conseil doit prendre en charge les enjeux environnementaux. C'est un défi considérable, en raison tout d'abord du caractère inédit et de la diversité des processus à considérer, qui implique l'élaboration ou l'emprunt d'un grand nombre de méthodes d'observation et d'analyse nouvelles ; mais aussi et surtout du caractère imperceptible des variables et performances environnementales telles que fuites de nitrates, émissions de protoxyde d'azote ou biodiversité du sol, qui ne s'observent pas directement et dont la mesure est difficile, voire impraticable pour des agronomes de terrain. D'où le développement d'indicateurs environnementaux qui, au prix d'approximations plus ou moins fortes, se substituent aux mesures directes. Cela permet aux organismes de développement de prendre en charge la description et une analyse des impacts environnementaux des pratiques agricoles. À la suite des travaux pionniers initiés par Girardin dans les années 1990, le développement des indicateurs environnementaux fait l'objet d'un effort important et continu (Van der Werf, 1996 ; Girardin *et al.*, 2005 ; Bockstaller *et al.*, 2009), avec des limites inhérentes à la notion même d'indicateur et au caractère forcément arbitraire des approximations qui sont faites. Chacun conçoit et cherche à valoriser « ses » indicateurs, ces derniers prolifèrent et leur nombre s'accroît plus vite que leur qualité vis-à-vis du diagnostic. La troisième difficulté majeure du diagnostic-conseil agro-environnemental tient au caractère fortement spatial des processus responsables des impacts environnementaux et à la discordance entre les périmètres des entités agricoles (parcelles, exploitations, entités environnementales telles que bassins hydrologiques, aires d'habitat d'une population animale, entités paysagères, etc.).

Encadré 2.1. Analyse des composantes du rendement du riz irrigué en Camargue et au Sénégal

Dans les deux régions (Bonnefond et Caneill, 1981 ; Dürr, 1984), les sols sont alluviaux et le riz est semé dans une lame d'eau avec des semences prégermées. Le recours aux intrants est beaucoup plus faible au Sénégal, avec une lutte manuelle contre les adventices. La fertilisation azotée est élevée en Camargue, très variable au Sénégal en fonction de l'enherbement. Les variétés cultivées diffèrent.

Dans les deux régions, il n'y a pas de relation entre le poids moyen d'un grain et le nombre de grains/m^2. Par contre, on note une très forte liaison entre le rendement et le nombre de grains/m^2 (figure 2.3a), avec un poids d'un grain moyen supérieur en Camargue (effet variétal). Le nombre de grains/m^2 est fortement lié au nombre de panicules/m^2 dans chaque région, lui-même corrélé au nombre de pieds/m^2 (figure 2.3b), excepté pour cinq parcelles du Sénégal qui décrochent nettement de cette liaison.

Les variations du rendement sont donc imputables dans les deux régions en majorité aux conditions d'implantation du peuplement (nivellement du terrain, régularité du semis à la volée, etc.), puis au désherbage. Cette analyse permet de prioriser les facteurs techniques à améliorer : topographie des parcelles, conditions de semis, maîtrise de l'enherbement, ajustement de la fertilisation azotée en fonction du rendement espéré. À noter que sans le rapprochement avec la Camargue, le rôle des conditions d'implantation serait plus difficile à détecter au Sénégal.

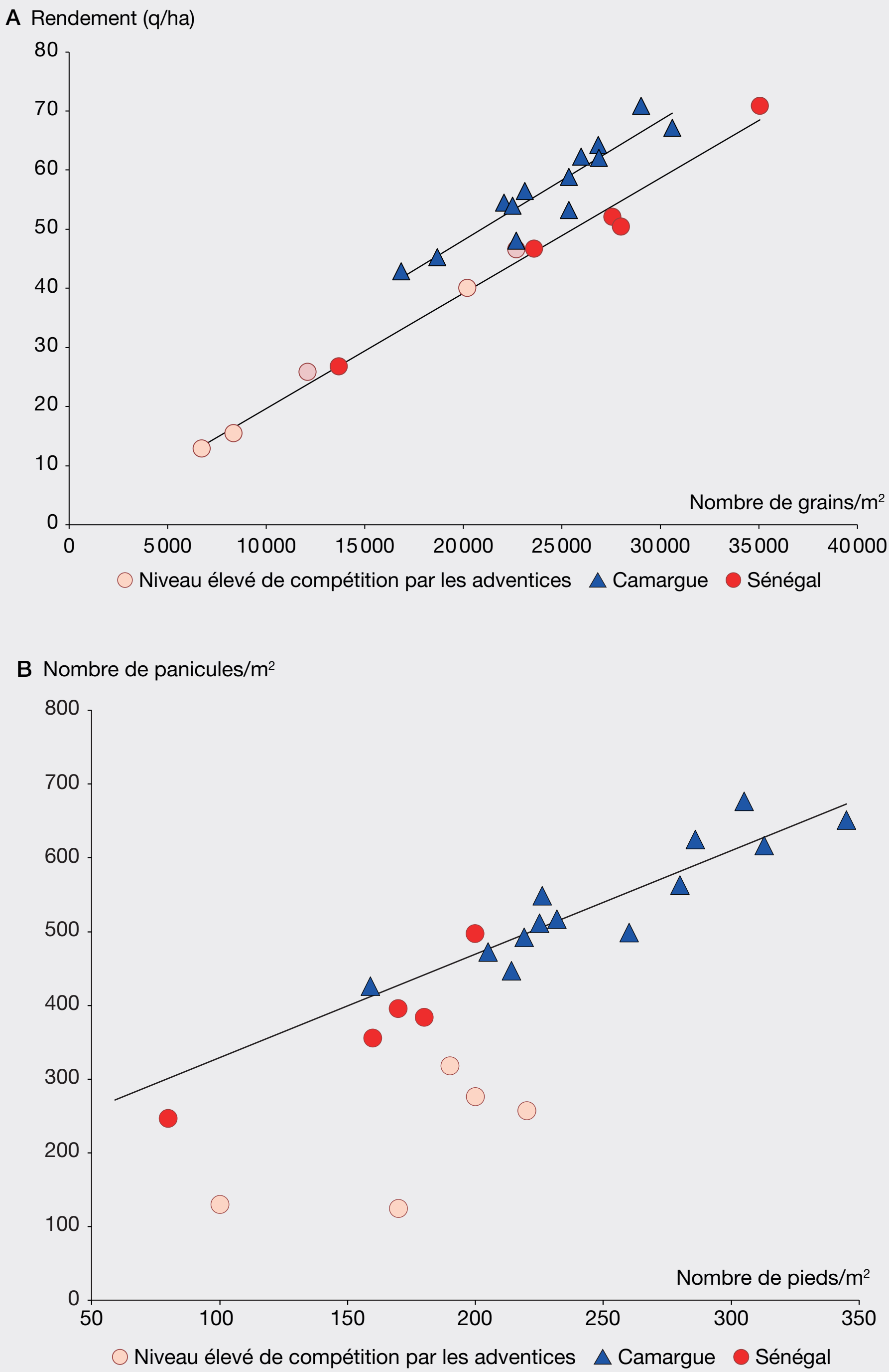


Figure 2.3. Variations (a) du rendement en fonction du nombre de grains/m^2 et (b) du nombre de panicules/m^2 en fonction du nombre de pieds/m^2 (Bonnefond et Caneill, 1981 ; Dürr, 1984).

D'où le développement d'une nouvelle génération de démarches dans lesquelles la localisation des sources et cibles d'impacts, et des connexions entre celles-ci, est un point essentiel du diagnostic. Et c'est aussi dorénavant le réagencement des systèmes de culture dans l'espace, voire des activités à plus large échelle, qui est l'enjeu du conseil (chapitre 3).

L'accompagnement

En adoptant une posture de conseil plutôt que de prescription, l'agronome ne prétend plus imposer à l'agriculteur des formes de raisonnement, il cherche plutôt à éclairer ses choix. Le passage du conseil à l'accompagnement est un degré supplémentaire dans la reconnaissance de l'autonomie du praticien (Kockmann *et al.*, 2019). C'est lui qui définit les voies d'exploration et les alternatives techniques sur lesquelles il souhaite être éclairé. L'éclairage qui lui est apporté se fait chemin faisant, à travers l'analyse *ex ante* des évolutions qu'il envisage, et *ex post* des situations qu'il crée au fur et à mesure de son exploration. Dans les formes les plus poussées que prend ce positionnement, les praticiens sont coproducteurs de connaissances agronomiques. Ce sont eux qui définissent les itinéraires d'exploration, qui engendrent les situations d'étude et déterminent les critères d'évaluation des résultats ou les indicateurs de suivi pertinents, tout en prenant part à la collecte des informations ainsi qu'à leur exploitation. Cela ne signifie pas que l'agronome devient spectateur passif, au contraire son accompagnement peut ouvrir l'éventail des possibles, valoriser les conduites innovantes, intensifier le retour d'expérience, et au total dynamiser – si ce n'est débloquer dans certains cas – la réflexion et l'exploration de l'agriculteur, notamment en l'insérant dans un cadre collectif, voire multi-acteur. L'encadré 2.2 illustre le cheminement itératif et évolutif d'une expérience d'accompagnement, et montre que la mise en œuvre de cette approche n'est nullement réservée à un contexte d'agriculture développée où les agriculteurs rivalisent de technicité avec les « experts ». Comme l'illustre cet exemple, l'accompagnement se situe dans le prolongement naturel du diagnostic-conseil mis en œuvre à l'échelle de la parcelle et/ou de l'exploitation. En sollicitant l'agriculteur pour savoir ce qu'il a fait et pourquoi, en lui faisant partager les observations et discuter le diagnostic, on l'amène bien souvent à formuler de lui-même les solutions opérationnelles envisageables[8]. Le plus souvent, en tout cas pour les opérations menées par les organismes de développement agricole, cet accompagnement qui ne dit pas encore son nom s'adresse à des collectifs d'agriculteurs, au travers d'analyses de groupe inspirées des pratiques des conseillers de gestion. Ces analyses de groupe agronomiques ont en fait été mises en œuvre dès les années 1950 (par exemple au sein des premiers CETA), et le leadership y était souvent exercé par les responsables professionnels eux-mêmes, autant ou plus que par les agronomes-techniciens (Darré *et al.*, 1989).

La notion d'accompagnement et l'emploi du terme lui-même semblent avoir été le corollaire de l'accroissement de complexité des problèmes à traiter, et des réseaux d'interactions à prendre en compte (Lémery, 2006). Face à des problèmes de choix d'assolement, d'équipement ou d'organisation du travail, et *a fortiori* de stratégie globale d'évolution de l'exploitation, c'est bien l'agriculteur lui-même qui est le mieux

8. Voir à ce sujet le témoignage d'Agustin Mariné, agriculteur espagnol, sur la maïeutique mise en œuvre sur le terrain par M. Sebillotte (Mariné, 2012).

Encadré 2.2. Du diagnostic à la modélisation d'accompagnement pour gérer le risque d'érosion dans un bassin-versant montagnard

De 1993 à 2005, une approche combinant enquête-diagnostic pour l'aide à la décision et modélisation d'accompagnement (ComMod) (Étienne, 2010) pour faciliter l'action collective a été testée dans un bassin-versant des hautes terres de Thaïlande, théâtre de nombreuses actions de lutte anti-érosive et d'une rapide diversification marchande des systèmes de culture (Trébuil *et al.*, 2021). L'enquête sur quatre cycles culturaux a permis de comprendre la relation entre risque d'érosion et diversification des cultures en observant après chaque pluie l'évolution de situations contrastées au champ. Le tableau 2.2 restitue les facteurs explicatifs majeurs de la variabilité spatiale des symptômes et précise les seuils de basculement entre types de processus érosifs selon la topographie et les états de surface (Turkelboom *et al.*, 2008).

Tableau 2.2. Risque d'érosion par ruissellement concentré selon la situation culturale : parcelles enquêtées (en %) présentant de nouveaux symptômes d'érosion après une pluie érosive.

Couverture du sol inférieure au seuil critique de :	Histoire culturale	Angle et longueur de pente			
		< 57 %		> 57 %	
		< 25 m	≥ 25 m	< 25 m	≥ 25 m
< 50 % de couverture totale ou	1re année après jachère	7 %	7 %	25 %	50 %
< 30 % de couverture de contact	≥ 2e année de culture	29 %	29 %	33 %	51 %

Sensibilité des cultures au risque d'érosion (nombre de jours après semis) : riz pluvial = 121 ± 28 j, maïs = 44 ± 13 j, soja et haricot = 38 ± 9 j, chou commun = 38 ± 6 j.

Trois types d'exploitations agricoles existaient en fonction de leurs stratégies de diversification, du niveau de risque économique accepté et de la localisation topographique de leurs champs. L'intégration des résultats du diagnostic aux 4 échelles (1 500 zones à pente homogène sur lesquelles le risque d'érosion est calculé selon des règles issues du tableau 2.2, situées dans 220 champs gérés par 3 types d'exploitations dans le bassin-versant) fut réalisée au moyen d'un modèle multi-agent spatialisé et dynamique couplé à un SIG (SMA-SIG) (figure 2.4) en vue de leur restitution aux agriculteurs.

Le modèle permettait de simuler la distribution spatiale du risque érosif selon l'assolement et la pluviométrie d'un cycle, mais aussi les effets des itinéraires techniques (dates de travail du sol et de sarclage) sur l'érosion à la parcelle au pas de temps quotidien lors des périodes critiques (Bousquet *et al.*, 2005). Le diagnostic fut jugé réaliste et son grain fin par les agriculteurs menacés d'éviction : « Cela montre bien le problème, mais il nous faut vite travailler à des améliorations. »

Copilotées avec les parties prenantes locales, les activités ComMod suivantes se déroulèrent en trois séquences (figure 2.5) répondant à autant de questions clés issues des échanges et apprentissages collectifs (Barnaud *et al.*, 2007). Le modèle SMA-SIG initial fut simplifié et adapté à chaque question, puis implémenté en jeux de rôle pour enrichir, paramétrer et valider le modèle avec ses usagers.

Encadré 2.2. Du diagnostic à la modélisation d’accompagnement pour gérer le risque d’érosion dans un bassin-versant montagnard (suite)

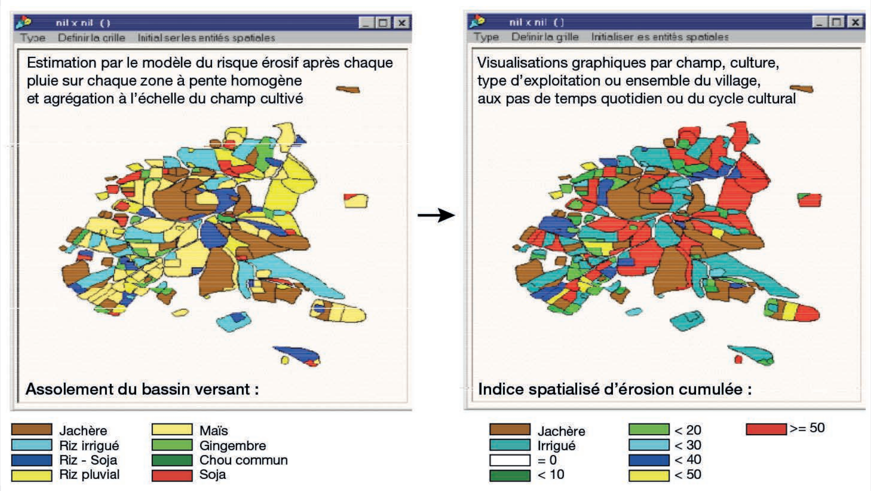


Figure 2.4. Intégration des connaissances dans un modèle de simulation multi-agent-SIG multiniveaux : pentes homogènes (évaluation du risque érosif) → champ (système de culture) → 48 exploitations (règles d’assolement selon le type) → bassin-versant (visualisation de l’impact cumulé de l’érosion).

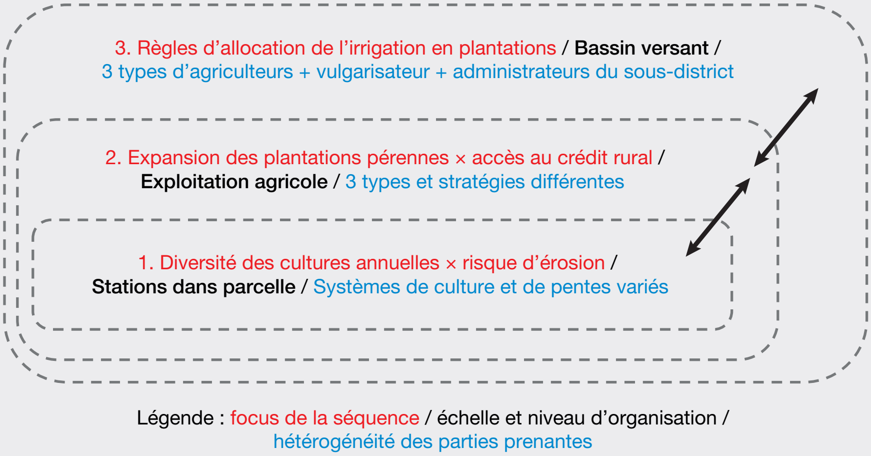


Figure 2.5. Évolution de la question clé, de l’échelle et des participants impliqués au fil des trois séquences successives du processus de modélisation d’accompagnement.

Le jeu de rôle était associé à un simulateur informatique multi-agent pour faciliter l’exploration des scénarios identifiés lors des parties jouées. Leur évaluation collective reposait sur les indicateurs (agronomiques et socio-économiques) retenus par les usagers et nourrissait la négociation des modalités d’amélioration de l’usage des terres acceptable par les différents types de ménages agricoles (figure 2.6).

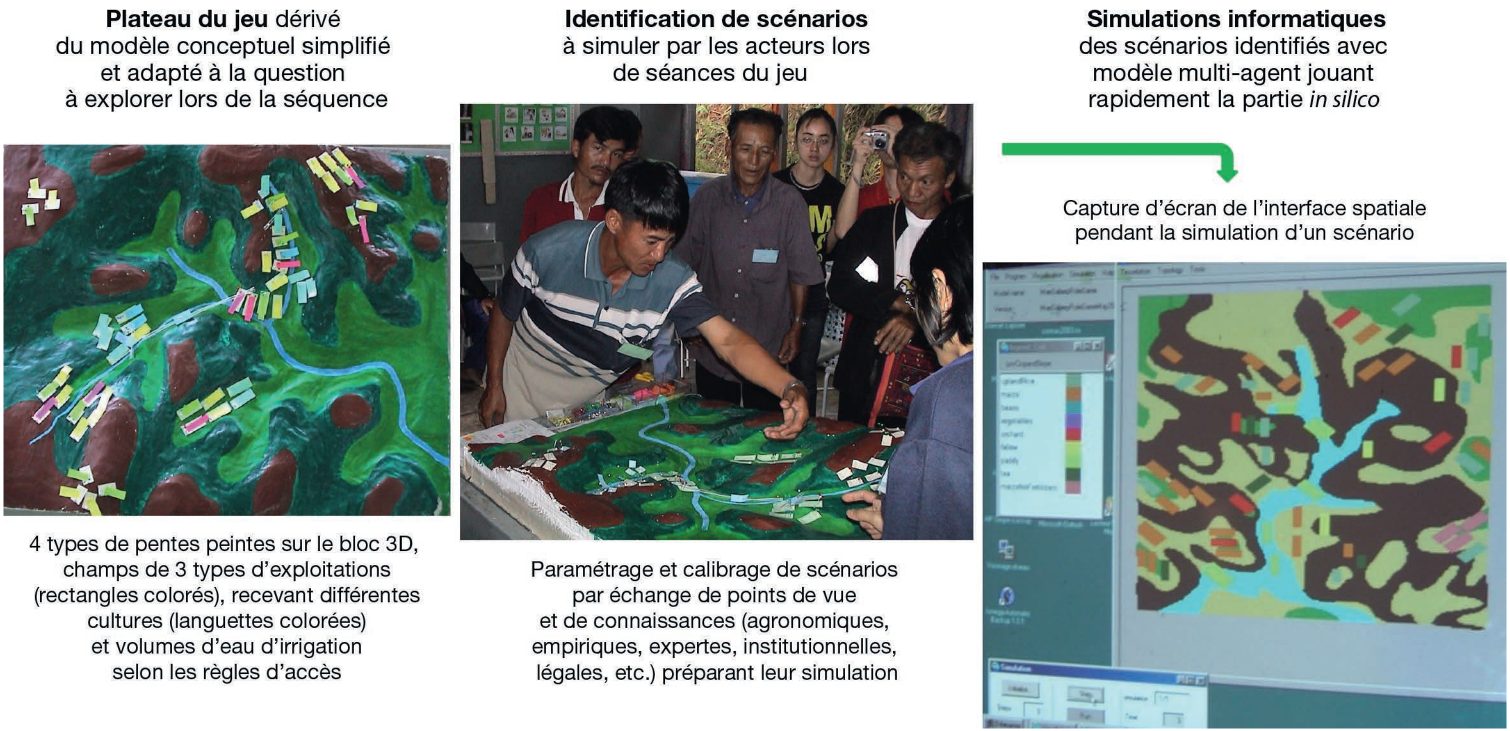


Figure 2.6. Modèle conceptuel implémenté en jeu de rôle associé à un simulateur informatique multi-agent pour explorer les scénarios sélectionnés par les acteurs.

placé pour définir, dans leur globalité, les alternatives à explorer. Même si telle ou telle voie d'innovation (par exemple la simplification du travail du sol) lui est proposée par le technicien, cette indication reste très sectorielle et ne détermine que très partiellement l'évolution qui s'ensuit et ses répercussions au sein de l'exploitation. L'accompagnement sur ces questions se réalise donc à travers une suite de rendez-vous entre l'agronome et l'agriculteur (Collectif, 1996). Ceux-ci jalonnent la progression de la démarche, depuis la formulation de la question initiale jusqu'à la décision finale, en passant par un diagnostic restitué et approprié, puis la définition et l'évaluation de scénarios. Il y a au passage un véritable apprentissage conjoint entre agriculteur et agronome (Cerf et Maxime, 2006; Cerf *et al.*, 2012a).

L'accompagnement collectif et participatif devient incontournable dès lors que sont pris en charge les enjeux environnementaux à l'échelle du paysage ou du bassin-versant. C'est d'ailleurs très largement sur des expériences relevant de ces problématiques que s'appuient les ouvrages ou articles de synthèse cherchant à donner de la démarche d'accompagnement une vision globale (Bousquet *et al.*, 2005; Étienne, 2010; Lacombe *et al.*, 2018). Quand il s'agit par exemple de gestion des ressources en eau et/ou de la biodiversité, les problèmes à traiter et les évolutions à envisager se situent au niveau d'entités spatiales et organisationnelles plus vastes et complexes que des exploitations agricoles (Ronfort *et al.*, 2014). L'agronome est alors en interaction avec plusieurs types de parties prenantes, aux intérêts souvent divergents : agriculteurs, mais aussi pouvoirs publics, élus, agences, services techniques de firmes et coopératives. Les points de vue et les critères d'évaluation sont multiples, et les scénarios étudiés conduisent à des arbitrages, avec des pondérations différentes entre ces critères, négociées entre les participants; à cet égard, un cas d'école précurseur a été l'analyse des possibilités de coexistence entre cultures OGM et non OGM (Messéan *et al.*, 2006). On ne cherche plus de solution optimale, mais plutôt un compromis transparent et acceptable par le plus grand nombre (Chantre *et al.*, 2016). L'agronome s'implique de façon plus interactive et injecte l'agronomie dans ces dynamiques collectives de négociation, de décision et d'action, copilotées avec les acteurs sous peine de rejet et d'échec des adaptations, quelle que soit leur pertinence technique (Prost *et al.*, 2018).

⏩ Face à la complexification des objets d'étude et d'innovation : approche systémique et modélisation

L'évolution de l'approche des questions techniques, se conjuguant au progrès des connaissances et méthodes d'étude dans toutes les disciplines proches de l'agronomie, a eu pour corollaire – à la fois cause et conséquence – une considérable évolution de la façon dont l'agronomie décrit et analyse les objets auxquels elle s'intéresse. En trois quarts de siècle, elle est passée de la boîte noire à l'agroécosystème piloté, puis au territoire où interagissent de multiples activités; et de la corrélation aveugle et statique à la modélisation dynamique des systèmes complexes.

Quelle(s) stratégie(s) face à la complexité ? Les tâtonnements initiaux

Le caractère complexe et multifactoriel des objets de l'agronomie a été un leitmotiv des auteurs historiques dès l'Antiquité. Mais cela ne signifie pas qu'ait été appliquée à

ces objets une approche systémique, alors même que les principes en étaient énoncés depuis longtemps : décomposition des systèmes en sous-systèmes interactifs, délimitation permettant de définir des entrées et sorties, représentation du fonctionnement sous forme de réseaux de relations de cause à effet, avec pour ambition de restituer le comportement global de l'objet en réponse à tel ou tel facteur externe. Au début de la période d'étude, l'approche systémique est à la fois présente dans les discours et peu pratiquée, aussi bien par les agronomes de la recherche que par ceux du développement, pour des raisons différentes. La démarche expérimentale, qui se développe à la fin du XIXe siècle dans la recherche agronomique à la suite de la médecine, va à l'encontre de l'approche systémique en cherchant à isoler les processus et à séparer les facteurs de variation qui les influencent. En matière de techniques culturales, c'est la relation directe technique-rendement qui prévaut. Tout en s'appuyant sur les statistiques pour asseoir leurs conclusions, les agronomes s'exonèrent de toute ambition explicative et se satisfont de la répétition des effets observés dans une région donnée. Dans les expérimentations au champ, on met en comparaison différentes variantes d'une technique, et on détermine la plus performante sans chercher à comprendre son effet, quitte à renouveler la démarche si cet effet s'avère instable.

Dans ce contexte, la thèse de Hénin (1944), écrite en captivité, apparaît comme une rupture qui permet de dépasser ces divergences. Elle établit la complémentarité entre analyse explicative et approche globale des phénomènes, et, sans utiliser le terme d'approche systémique, elle l'affirme comme fondement de l'agronomie (Sebillotte, 1993). À partir des années 1950, dans plusieurs secteurs thématiques – dynamique de l'eau dans le continuum sol-plante-atmosphère, cycles des éléments minéraux dans le sol, évolution de l'état structural du sol –, la recherche en agronomie pratique sans le dire une approche systémique à base explicative, qui cherche à la fois à analyser le fonctionnement des composantes et à restituer le comportement global des objets étudiés. Les niveaux d'organisation que constituent la parcelle et l'exploitation sont bien identifiés, et au niveau du système de production des travaux sont entrepris au début des années 1960 sur l'articulation entre rotations et assolements (Hénin et Sebillotte, 1962; Lefort et Sebillotte, 1964a). À la fin des années 1960, dans l'enseignement d'agronomie de l'INA directement inspiré des conceptions de Hénin, l'approche systémique est explicitement revendiquée, se traduisant dès les cours inauguraux par la représentation même de l'objet de l'agronomie : le triangle climat-sol-plante, influencé par les techniques placées au centre (figure 2.7). À partir de 1970, les chercheurs en agronomie vont progressivement identifier et caractériser leurs principaux objets d'étude comme des systèmes complexes – le peuplement végétal, le cycle des

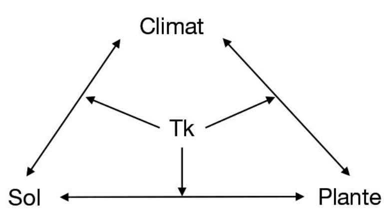


Figure 2.7. Le fonctionnement de l'agroécosystème influencé par les techniques culturales (Tk). Schéma illustrant les séances introductives de l'enseignement d'agronomie de l'INA à la fin des années 1960.

éléments minéraux, le profil cultural, puis l'itinéraire technique, le système de production – dotés de propriétés émergentes, qui doivent être appréhendés en tant que tels et à un niveau d'organisation adéquat, sans renoncer à une approche explicative, mais au contraire en s'appuyant sur elle. Dans l'idéal, cet aller-retour constant entre vision globale et analyse des processus limite les risques aussi bien de fuite en avant dans l'analytique que de tâtonnement à l'aveugle pour décrire le comportement des boîtes noires. Cette évolution se fait initialement sans que l'approche systémique soit explicitement revendiquée par les agronomes[9]. Elle le sera de plus en plus largement, dès lors qu'à l'extérieur des sphères agronomiques elle acquiert reconnaissance et légitimité[10].

Le déploiement de l'approche systémique dans les différents champs thématiques

L'écophysiologie végétale, domaine partagé entre agronomie, écologie fonctionnelle et physiologie végétale, revendique dès ses origines la plante entière et le peuplement végétal comme niveaux d'organisation pertinents redevables d'une approche explicative et prédictive spécifique (Perrier et Picard, 1989). Elle les appréhende dans un premier temps par l'étude distincte de grandes fonctions qui régulent la photosynthèse à l'échelle du couvert – interception de l'énergie lumineuse (Monteith, 1972), alimentation hydrique (Inra, 1964), nutrition azotée et répartition de l'azote dans les différents étages foliaires (Lemaire et Salette, 1984a ; 1984b) –, puis en articulant ces fonctions dans le cadre d'une vision intégrée du fonctionnement du peuplement végétal, qui débouchera sur les modèles de culture (encadré 2.3, en fin de chapitre). Après de premières étapes très prometteuses (Maertens, 1971a ; 1971b), le système racinaire et son fonctionnement resteront pendant longtemps le point faible de cette vision intégrative, et seront traités comme une boîte noire avant de faire l'objet à leur tour de tout un courant d'approches vraiment systémiques (Tardieu, 1984 ; Pagès et Ariès, 1988 ; Habib *et al.*, 1991).

Dans le champ thématique qui s'intéresse au milieu et à l'influence des systèmes de culture sur son évolution, l'approche systémique se déploie en réponse à une exigence de vision dynamique des relations plante-milieu. Ainsi, pour étudier le cycle de l'eau et des éléments minéraux ou l'évolution des matières organiques dans le milieu cultivé, il faut distinguer différents compartiments au sein du sol, reliés entre eux par des flux de transfert et de transformation. Mais cette compartimentation reste toujours assujettie à une amélioration de la description du comportement global du système, et en particulier de sa réponse aux interventions culturales. Plus tard, les études de dynamique des adventices relevant de l'agronomie se développeront sur la base d'approches compartimentales analogues, avec la même quête d'équilibre entre analyse des processus et vision d'ensemble du phénomène (Colbach *et al.*, 2019).

L'approche systémique des techniques culturales consiste au départ à décomposer la relation technique-rendement, qui devient : technique-états du milieu-états du

9. Si ce n'est par une minorité de chercheurs participant au groupe « analyse et synthèse » lancé par S. Hénin en 1969 (plus tard dénommé « groupe non sectoriel »), qui joueront un rôle actif dans la création au sein de l'Inra du département Systèmes agraires et développement (SAD) en 1979 (Gras *et al.*, 1989).
10. Le développement de la démarche systémique en agronomie a largement bénéficié d'apports externes, provenant en particulier du réseau pluridisciplinaire autour de la modélisation des systèmes complexes initié par Le Moigne (1977 ; 1999).

peuplement-rendement et/ou autres critères d'évaluation (Sebillotte, 1974). Cette vision est déjà présente dans certaines réflexions suscitées par l'irruption du désherbage chimique, qui amène à reconsidérer le travail du sol et ses effets (Monnier, 1970), voire dans *Le Profil cultural* (1960) quand sont évoqués les effets du labour. Par la suite, son développement sera limité d'un côté par le faible intérêt que portent les agronomes de la recherche aux techniques culturales elles-mêmes, de l'autre par la réticence d'une large part des agronomes du développement à renoncer à la relation directe technique-rendement, qui en apparence simplifie l'acquisition des références techniques. Cependant, on retrouve une trace continue de l'approche systémique des techniques culturales dans les travaux menés à la chaire d'agronomie de l'INA P-G, notamment dans l'analyse des innovations en matière de travail du sol (Manichon et Sebillotte, 1975; Sebillotte, 1975; Boiffin *et al.*, 1976), ou encore des arrière-effets des historiques culturaux (Sebillotte, 1970; Manichon et Sebillotte, 1973). Plus récemment, le regain d'intérêt porté aux techniques culturales pour contrôler les bioagresseurs en limitant l'application de pesticides remet au premier plan l'approche systémique des techniques culturales et de leurs effets, directs ou indirects, sur les processus biologiques, notamment les cycles épidémiques.

Mais l'approche systémique des techniques culturales n'est pas seulement celle de leurs effets sur l'agroécosystème. L'émergence des concepts de système de culture et d'itinéraire technique (chapitre 1) traduit le fait que les techniques de production végétale sont appréhendées non plus comme des additions d'interventions indépendantes, caractérisées uniquement par le type d'équipement utilisé, mais comme des combinaisons logiques et ordonnées, à l'échelle de l'année pour l'itinéraire technique, ou d'une succession de plusieurs années pour le système de culture. Un nouveau pas est bientôt franchi en distinguant un sous-système « opérations » et un sous-système « décision » : l'approche systémique s'étend au processus mental de l'agriculteur. Pour représenter ce « nouveau » sous-système, Sebillotte empruntera aux sciences de gestion le terme de « modèle d'action » (Sebillotte et Soler, 1988a).

Bien avant 1945, comme en témoignent les traités d'agriculture des grands agronomes « historiques » (par exemple Heuzé, 1862, l'un des plus emblématiques à cet égard), l'étude des techniques culturales s'étendait jusqu'au niveau du système de production. À ce niveau, certaines interactions – notamment les articulations entre rotations et assolements, ou entre assolement, équipement et jours disponibles pour les travaux agricoles – étaient déjà identifiées comme cruciales vis-à-vis de nombreux choix techniques mis en œuvre au niveau de la parcelle (chapitre 3). Mais pour ce qui est de l'agronomie, l'essor d'une véritable approche systémique de l'exploitation agricole est postérieur[11]. Il se manifeste de façon concomitante, lors de la création du département pluridisciplinaire SAD au sein de l'Inra – avec en particulier un fort intérêt porté à l'interdépendance entre système fourrager et atelier d'élevage – et au sein de l'enseignement supérieur agronomique où, dès les années 1970, une grande attention est portée à la caractérisation globale de l'exploitation (chapitre 7). On cherche notamment à cerner la façon dont les différentes composantes du système de production (ateliers, ressources de divers types) s'articulent, et conditionnent les choix techniques au niveau des parcelles, tout en répondant à différentes stratégies (Benoît

11. Les sciences de gestion sont alors bien plus avancées à cet égard.

et al., 1988 ; Capillon et Manichon, 1991). L'étude des relations entre main-d'œuvre, équipement, assolement, et de leur impact sur les conditions de mise en œuvre d'itinéraires techniques, se développe particulièrement à Grignon à la faveur d'une intense collaboration entre agronomie et sciences de gestion, mais aussi au sein des centres de gestion et de certains instituts techniques, chambres d'agriculture et autres organismes de recherche-développement régionaux tels qu'Agrotransfert-Picardie (Boiffin et Chopplet, 2015). Plusieurs colloques d'ampleur nationale ou internationale marqueront l'apogée de ce courant[12].

Jusqu'alors progressives, la diversification et la complexification des objets d'étude se sont fortement amplifiées à partir de la fin des années 1980 avec l'irruption des problématiques environnementales. D'abord circonscrite au maintien de la fertilité du sol et à la modération des apports d'intrants, la prise en compte des enjeux environnementaux va bientôt contraindre l'agronomie à considérer de multiples nouveaux processus, et donc des variables « de sortie » et « d'entrée » elles aussi entièrement nouvelles. Vis-à-vis des étapes précédentes, l'approche systémique doit franchir un nouveau pas. Il s'agit non seulement de décrire de nouveaux processus et systèmes (par exemple les flux de gènes ou de produits chimiques à l'échelle du paysage, ou l'érosion par ruissellement concentré), mais aussi de les articuler avec les activités agricoles aux différents niveaux d'organisation (opération ou itinéraire techniques, systèmes de culture ou de production) et aux échelles spatio-temporelles permettant de les caractériser. À cet égard, le pas le plus difficile à franchir est la spatialisation des approches, qui comporte elle-même un double défi. D'une part, il faut appréhender des entités spatiales souvent plus vastes, et surtout dont les périmètres sont discordants par rapport aux limites des parcelles et des exploitations agricoles (chapitre 3). D'autre part, c'est le fonctionnement même de ces entités qui est spatial. Non seulement les variables et paramètres qui y interviennent varient d'un lieu à un autre, mais les sous-systèmes correspondant à des fonctions différentes dans le phénomène étudié (par exemple départ, transfert ou dépôt de terre) ont des localisations différentes, liées entre autres à la topographie. L'approche systémique a donc pour préalable le repérage et la délimitation de ces zones fonctionnelles, qui peuvent ensuite être confrontées au parcellaire et à la répartition spatiale des itinéraires techniques, systèmes de culture et de production (encadré 2.2). Pour être efficaces, les mesures agro-environnementales à prendre devront être différenciées selon les zones fonctionnelles où elles s'appliquent. Les travaux sur l'érosion marquent un premier pas dans la voie de la spatialisation (Boiffin *et al.*, 1988), qui sera suivi de beaucoup d'autres, parmi lesquels un des plus marquants concerne la dissémination des transgènes à partir des cultures d'OGM (Gouyon *et al.*, 2001). Cette progression est sans fin dès lors que toute problématique environnementale correspond à une configuration spatiale particulière, dans son fonctionnement propre comme dans son articulation avec les activités humaines. Chemin faisant, l'agronomie a fait mieux que suivre le mouvement. Son apport décisif et reconnu aux approches agro-environnementales a été l'inclusion de plus en plus poussée des actes et acteurs dans le champ d'étude, comme facteur explicatif que les autres disciplines ne sont pas bien armées pour caractériser, et comme « sortie » des travaux accroissant leur potentiel d'application. Dans le grand programme d'étude du fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine (Piren-Seine,

12. Conférence internationale *Farming Systems Research and Development* (FSRD) à Montpellier en 1994, Colloque Inra-Conseil régional de Picardie à Laon en 1996.

Meybeck *et al.*, 1998), la participation des agronomes a permis non seulement de mieux cerner l'origine des pollutions en analysant les itinéraires techniques, systèmes de culture et règles de décision qui les pilotent, mais aussi de construire des scénarios où les activités agricoles sont prises en compte de façon explicite et réaliste (Viennot *et al.*, 2009). L'appréhension conjointe des ressources naturelles, des dynamiques paysagères, des pratiques agricoles et du comportement des acteurs permet d'évoquer une « agronomie du paysage » (Benoît *et al.*, 2012).

Mais ces succès ont eu aussi un revers de la médaille. La complexification de la description du fonctionnement des agroécosystèmes, dans le sens d'une analyse plus fine et plus réaliste des processus, a eu pour conséquence de rendre beaucoup plus difficile l'élaboration des références produites par l'agronomie à destination des acteurs de terrain, au point parfois de susciter un rejet. En témoigne la césure qui s'est produite dans les années 1980 entre certains des instituts techniques qui avaient pris le parti d'assumer les enjeux agro-environnementaux[13] et l'approche systémique dont ils relèvent, et d'autres qui au contraire ont longtemps voulu s'en tenir à l'écart.

Le développement de la modélisation en agronomie

L'approche systémique ne prend tout son sens et sa véritable portée que si elle débouche sur une procédure de raisonnement permettant la mise en œuvre d'analyses ou de prédictions, qualitatives ou quantitatives. Le support méthodologique est dans ce cas la modélisation, pratiquée de longue date par d'autres disciplines, au premier rang desquelles la physique et l'écologie des populations. Ce vaste ensemble recouvre tout un cortège de méthodes spécifiques apportées par les mathématiques et statistiques (Wallach *et al.*, 2018) – par exemple les méthodes de résolution numérique, ou les méthodes d'évaluation statistique des modèles (Wallach et Goffinet, 1987 ; Wallach *et al.*, 2006) – ainsi que par l'informatique. Grâce à un intense et durable courant d'échanges avec ces disciplines-ressources, l'appropriation de ces apports a permis aux agronomes de déployer l'approche systémique dans ses différents domaines thématiques. En retour, ce déploiement a constitué une puissante force d'appel pour le développement de modèles, ce dernier devenant en quelque sorte un critère du degré d'aboutissement et de maturité des connaissances agronomiques.

L'encadré 2.3 (voir en fin de chapitre) illustre les grandes catégories de modèles qui ont jalonné ce parcours et qui correspondent à un gradient de complexité des objets d'étude. Il nous rappelle que l'agronomie a « rencontré » la modélisation avant l'approche systémique : la mise en œuvre des méthodes statistiques associées à l'expérimentation au champ repose sur des modèles qui décrivent l'effet des facteurs sur les variables d'intérêt, et en déduisent des procédures de test d'hypothèse sur le caractère significatif des effets mesurés. Mais ces modèles ne comportent guère d'interprétation explicative, si ce n'est à travers la prise en compte de covariables qui traduisent une sorte de premier pas dans la prise en compte de la complexité.

Dans ses formes initiales, correspondant aux prémices et aux premiers tâtonnements de l'approche systémique, la modélisation agronomique prend occasionnellement la forme d'équations ou de systèmes d'équations relativement simples, dont

13. Voir le programme Bilans environnementaux, lancé en 1992 à l'initiative du Cetiom en lien étroit avec l'Ademe et l'Inra (Risoud, 2007).

la résolution analytique ne pose pas de problème majeur. Ces équations sont d'ailleurs souvent présentées plutôt comme outils de calcul que comme représentation conceptuelle du phénomène étudié. À partir du moment où l'approche systémique est explicitement revendiquée comme devant s'appliquer à la plupart des objets et problèmes traités en agronomie, le souci de formalisation s'intensifie et se généralise. Si on excepte l'étude de l'évolution des matières organiques du sol[14], jusque vers le milieu des années 1970, ce souci ne va guère au-delà de la représentation graphique des objets et problèmes traités. Ces graphes ont le mérite d'amener les agronomes à définir les frontières du système étudié, à en identifier les principaux sous-systèmes, et à expliciter les hypothèses qu'ils font sur les variables externes qui influencent le système, ou sur les interactions dont il faut tenir compte. Mais vis-à-vis de l'étude et de la résolution des problèmes, on en reste au stade du cadrage préliminaire, si ce n'est du discours de présentation.

La modélisation quantitative formalisée a d'abord atteint l'agronomie par l'intermédiaire de la science du sol et de la bioclimatologie, qui la pratiquaient depuis longtemps à travers leurs approches physiques. L'informatique et sa combinaison avec les mathématiques ont permis d'élargir la gamme d'objets et de processus qui pouvaient être représentés jusqu'à la formalisation des règles de décision. Cet apport est crucial, car il permet d'inclure dans le champ d'étude non seulement les techniques, mais aussi les acteurs qui les pilotent. C'est d'ailleurs à partir du moment où cette combinaison de formalismes différents a pu être mise en œuvre de façon étendue que se développe une modélisation spécifiquement agronomique, c'est-à-dire prenant explicitement en compte les interventions techniques. L'illustration la plus notoire en est sans conteste l'élaboration du modèle de culture Stics depuis 1996 (Brisson *et al.*, 2003). Il aura une large diffusion y compris hors de la recherche, mais des travaux de modélisation antérieurs étaient déjà porteurs de cette marque spécifique qu'est l'articulation entre sous-systèmes de natures différentes, et dont les représentations ne sont pas d'emblée faciles à connecter. À cet égard, la thèse de Bruckler (1979), qui assemble dans un même modèle dynamique l'eau dans le sol et la germination des semences, a un véritable caractère pionnier. De même, l'agrégation progressive de modèles propres à tel ou tel groupe de processus au sein d'un cadre plus global (par exemple l'adjonction à Stics de modules de modélisation de la dynamique de l'eau et des fuites de nitrates, ou de prélèvement racinaire des éléments minéraux) est elle aussi une dynamique caractéristique de l'évolution de la modélisation en agronomie. Aujourd'hui, cette évolution prend la forme d'approches de modélisation intégrée qui articulent fonctionnement physique, dynamiques écologiques, occupation des sols et systèmes de culture, comportement et décision des acteurs dans leur diversité, à l'échelle de paysages ou d'espaces de dimensions variées. Ces modèles sont utilisés pour explorer des options alternatives d'organisation et de gestion de l'espace, évaluées pour leurs performances au regard d'objectifs multiples (Poggi *et al.*, 2018 ; 2021).

Dès que la modélisation a été appliquée à des agroécosystèmes d'une certaine complexité, et par suite confrontée à des degrés d'incertitude croissants, les agronomes-modélisateurs ont pris conscience que les ambitions prédictives devaient être ramenées à une juste mesure. Il s'agit de prévoir des sens de variation, des comportements

14. Qui fait l'objet de travaux de modélisation compartimentale dès le début de notre période d'étude (Hénin et Dupuis, 1945 ; Hénin *et al.*, 1959).

tendanciels du système sous l'effet de tel ou tel facteur, selon des démarches plus ou moins systématisées, en particulier des analyses de sensibilité (Wallach *et al.*, 2018). Les comparaisons de modèles de culture étaient à cet égard extrêmement frappantes et interdisaient tout triomphalisme vu l'ampleur des divergences observées (Passioura, 1996)[15]. Avant d'être utilisés comme outils de simulation et de prévision, les modèles élaborés en agronomie ont donc d'abord et avant tout servi à mettre à l'épreuve la représentation des phénomènes qui les sous-tendaient. Cet usage heuristique est typiquement illustré par le travail de Habib, en collaboration avec des biométriciens (Habib et Monestiez, 1987 ; Wallach *et al.*, 1990), dans lequel le test d'un modèle compartimental permet de conforter les hypothèses écophysiologiques sur l'existence de divers pools d'azote au sein des arbres fruitiers. De façon plus générale, de multiples exemples montrent que les démarches dites de « validation des modèles » ont surtout permis de mettre à l'épreuve les hypothèses sous-jacentes, de faire apparaître des divergences révélatrices de lacunes à combler, et finalement de faire progresser les modèles conceptuels, bien plus que d'améliorer la qualité des prévisions. Cette possibilité de confronter hypothèse et réalité dans le cas d'objets complexes a sans doute été le facteur majeur de synergie entre approche systémique et modélisation en agronomie.

Pour autant, l'usage des modèles et de la modélisation ne s'est pas développé de façon unanime dans les différentes communautés d'agronomes. Pendant longtemps, de même que l'approche systémique, la modélisation a plutôt été un motif d'éloignement et d'incompréhension entre les agronomes de la recherche et ceux du développement. La réticence de ces derniers ne peut être uniquement attribuée à la complexité des modèles et au savoir-faire requis pour leur utilisation. Elle tient peut-être surtout à une difficulté de percevoir leurs finalités d'application tant qu'ils ont porté sur des processus plus ou moins déconnectés des techniques culturales. Le cas du modèle de bilan prévisionnel constitue à cet égard une exception qui confirme la règle. C'est à partir du moment où les modèles ont explicitement inclus les techniques culturales et leurs effets que l'intérêt pour la modélisation en agronomie s'est progressivement étendu hors de la sphère de recherche.

⏩ S'affranchir de la variabilité ou en tirer parti, un dilemme méthodologique permanent

Quel que soit le type d'approche mis en œuvre, les agronomes doivent en permanence acquérir des informations nouvelles sur les relations milieu-plante-technique, qui selon les cas correspondent à une révision plus ou moins profonde des connaissances, voire à un simple réajustement de paramètres. En particulier, ils doivent constamment accroître, renouveler ou améliorer les références techniques[16] utilisées dans le cadre des démarches de prescription, diagnostic-conseil et accompagnement.

Pour produire ces informations, il faut concevoir et mettre en place des dispositifs, dans des conditions et selon des modalités qui influeront grandement sur la précision et la fiabilité des informations produites. Dans cette démarche, l'agronome

15. Depuis, l'intercomparaison de modèles est devenue un sujet d'étude en soi, particulièrement d'actualité dans le cadre des travaux relatifs au changement climatique (Rosenzweig *et al.*, 2013).
16. Correspondance établie dans un contexte donné entre une variante technique et un critère de performance (Sebillotte, 1978b), sous des formes qui peuvent être très diverses (chapitre 8).

est confronté à la variabilité très étendue et pour partie aléatoire des conditions de milieu et des contextes de production. D'un côté, cette variabilité est une cause majeure d'incertitude dans les conclusions qu'il tire de ses mesures et observations, et de restriction vis-à-vis de la généralisation de ses conclusions. De l'autre, c'est une source précieuse d'information, de comparaison et d'analyse. Aux différents types de dispositifs correspondent des catégories variées de méthodes statistiques permettant d'assurer le premier stade d'interprétation des résultats. La recherche des voies et moyens pour à la fois maîtriser et valoriser la variabilité a été un moteur et une résultante des liens précoces et privilégiés entre agronomie et statistiques. Cette quête incessante s'est conjuguée avec l'évolution des relations agronomie-agriculture pour constamment élargir la panoplie des méthodes d'étude en agronomie[17].

Séparer les facteurs : l'ère de l'expérimentation et de l'analyse de variance

Dans une perspective de prescription sectorielle, s'appliquant à un petit nombre de thèmes techniques considérés séparément, l'agronome va d'abord chercher à contrôler et à réduire la variabilité. On veut séparer les facteurs de variations pour n'en étudier qu'un (ou un très petit nombre) et réduire l'influence de la variabilité non liée au(x) facteur(s) étudié(s). L'expérimentation comparative est alors la démarche reine en agronomie, avec de multiples variantes et raffinements statistiques. Les plans d'expérience et l'analyse de variance sont les compétences de base des agronomes de la recherche-développement[18], et prévalent dans tous les domaines d'innovation. On se situe à l'échelle stationnelle (petites parcelles au sein desquelles l'hétérogénéité est supposée faible). On implante les essais en milieu aussi homogène que possible. On utilise des équipements miniaturisés, et on met en œuvre des procédures et dispositifs expérimentaux qui visent à amplifier l'impact des variantes expérimentales par rapport à la variabilité résiduelle. Au besoin, on utilise des covariables pour éliminer des effets que le dispositif n'aurait pas permis d'homogénéiser.

Mais les conclusions ainsi obtenues sont inféodées au contexte d'expérimentation, et leur portée est amoindrie par le caractère conjoncturel des conditions météorologiques et des interactions sol-climat. En complément de cette restriction locale de la variabilité, il faut donc étendre, de façon tout aussi contrôlée, la gamme des contextes d'expérimentation. Très tôt, des réseaux d'expérimentations multilocales et pluriannuelles sont établis sur différents thèmes, notamment l'évaluation des nouvelles variétés. Les réseaux correspondants sont stratifiés en zones géographiques ; cependant, même au sein d'une région, les classements sont instables d'un lieu et d'une année à l'autre, au point qu'il faut poursuivre l'évaluation bien au-delà de l'inscription, qui elle-même a nécessité trois années d'essai. Au total, l'investissement nécessaire représente une charge considérable pour l'ensemble du système de recherche-développement agronomique, qui amoindrit d'autant sa capacité à étudier d'autres thèmes d'innovation. Ainsi, la réponse – en quelque sorte défensive – qu'apporte l'extension pluriannuelle et

17. Cet élargissement présente des similitudes (mais aussi des différences et des décalages temporels) avec les évolutions qui ont eu lieu en médecine ainsi qu'en écologie.
18. Les instituts techniques, en particulier l'Institut technique des céréales et des fourrages (ITCF), se dotent de services statistiques qui publient des manuels de haut niveau (par exemple Tranchefort et Philippeau, 1971, suivi de nombreux autres ouvrages puis logiciels).

multilocale de l'expérimentation au défi de la variabilité s'avère insuffisante. La variabilité n'est jamais vaincue, elle se traduit par une irréductible instabilité des conclusions qui oblige à renouveler sans fin la démarche. Au bout du compte, l'ultime parade est la méta-analyse. Sur certains thèmes, à l'échelle internationale, l'accumulation des essais devient telle, et la gamme des contextes d'expérimentation si étendue, qu'il est enfin envisageable d'en déduire des tendances invariantes, au-delà du caractère contradictoire des conclusions qui ressortent des travaux publiés au fil du temps sur tel ou tel esssai ou groupe d'essais. Un cas emblématique à cet égard est celui de l'agriculture dite « de conservation » (Rusinamhodzi *et al.*, 2011 ; Corbeels *et al.*, 2014).

Il n'entre pas dans notre propos de présenter ici l'évolution des méthodes d'analyse statistique associées à l'expérimentation. Bien avant la guerre, les ouvrages canoniques de Fisher (1925a ; 1925b ; 1935) les ont fait connaître dans les sphères de la recherche agronomique. Sous de multiples formes, l'analyse de variance est adaptée à des dispositifs expérimentaux qui dès la fin des années 1950 pouvaient être d'une grande complexité (comme en témoigne le sommaire du bréviaire statistique des agronomes que constituait le manuel de Vessereau, dont la première édition date de 1948). Du modèle linéaire monofactoriel à la méta-analyse, en passant par le modèle linéaire généralisé et les méthodes de segmentation et de fouille de données, cette famille de méthodes n'a cessé de s'enrichir et de se perfectionner, pour permettre aux agronomes d'interpréter les données issues de plans d'expérience de dimension sans cesse croissante. Les multiples rééditions des ouvrages de Dagnélie (1969 ; 1970, pour les premières parutions), qui ont remplacé le Vessereau comme vade-mecum des agronomes, traduisent cette dynamique. À travers la pratique intensive de ces analyses, l'agronomie a poursuivi la triple quête de sécurité des conclusions, de puissance de détection et d'extrapolabilité des résultats plutôt qu'un véritable renouvellement conceptuel. Il n'en demeure pas moins que certaines approches incontestablement fécondes (les courbes de réponse par exemple) ont bien relevé de cette catégorie de méthodes.

Valoriser la variabilité au lieu de la contraindre : l'ère de l'enquête et de l'analyse de données

L'irruption, au cours des années 1970, de l'enquête[19] puis son avènement comme démarche de base de l'agronome traduisent une attitude très différente vis-à-vis de la variabilité. Elle est pour partie liée à la perception des limites de l'expérimentation comme moyen d'acquisition des connaissances et références, et surtout à l'émergence de l'agronomie clinique. Dans l'approche de diagnostic-conseil qui en est le corollaire, l'agronome n'exerce plus de choix restrictif sur les facteurs de variation, mais cherche sans *a priori* à les détecter, à en mesurer les effets et autant que possible à les expliquer. En tout état de cause, certains des objets auxquels s'applique cette approche ne se prêtent pas au contrôle expérimental, car dépendants de facteurs peu maîtrisables (cas des conditions de réalisation des opérations de travail du sol, dépendantes du climat et du sol), ou intrinsèquement trop complexes, comme c'est le cas des itinéraires

19. Analyse de la variabilité d'un phénomène à partir d'un échantillon de situations existantes, en vue d'identifier et de hiérarchiser les facteurs qui influent sur cette variabilité. Dans les enquêtes agronomiques, ces situations correspondent à des parcelles d'agriculteur, et peuvent faire l'objet d'un certain contrôle, pour réduire la gamme de facteurs de variation pris en compte.

techniques, systèmes de culture et systèmes de production pris dans leur ensemble. Cette inadéquation au contrôle expérimental et à la comparaison « toutes choses égales par ailleurs » s'applique aussi à de nombreuses entités spatiales correspondant aux thématiques environnementales, par exemple le bassin-versant. Même si le contrôle expérimental est réalisable, par exemple si on s'intéresse aux rotations culturales, la gamme des variantes expérimentales qu'il est possible de mettre en comparaison en station expérimentale reste très limitée par rapport à l'éventail des possibles, ce qui restreint d'autant l'intérêt et la portée de l'expérimentation classique comme méthode d'acquisition des références techniques[20].

La nouvelle[21] attitude que traduit le recours à l'enquête se déploie aussi bien dans l'espace que dans le temps, se traduisant au niveau de la recherche par des travaux inédits et un élargissement des thèmes abordés. Elle s'avère particulièrement appropriée à l'étude des problèmes liés au travail du sol, aux rotations culturales, à la conduite des prairies ou cultures pérennes, et plus globalement aux thèmes agronomiques fortement influencés par l'historique parcellaire. Elle élargit aussi la gamme des situations observées, permettant de rencontrer des cas sinon extrêmes, en tout cas inaccessibles à l'expérimentation, et souvent riches d'enseignement. Au niveau des organismes de développement, cette évolution s'inscrit naturellement dans l'activité de nombreux techniciens et ingénieurs. Elle se traduit par la mise en place d'observatoires qui donnent une dimension nationale au diagnostic et à la collecte de références[22].

Dans toutes ces expériences, l'agronome est confronté au problème de confusion des effets, corollaire de l'absence de contrôle expérimental. Par enquête, on accède « gratuitement » à une gamme étendue de variation des facteurs, mais on ne parvient pas toujours à les faire varier de façon distincte, ce qui dans bien des cas empêche de conclure. Ce problème est plus ou moins bien résolu, au pire il peut conduire à des erreurs de diagnostic et de prescription, surtout si on s'exonère de l'interprétation explicative des relations observées. Mais il peut aussi être stimulant, en obligeant l'agronome à mieux formuler ses hypothèses, à mieux construire son plan d'enquête, et à densifier le protocole d'observation et de mesure qu'il y applique (Boiffin *et al.*, 1981).

Du côté des statistiques, cette dynamique a pour support le développement des analyses de données multivariées, qui à leur apparition dans les sphères agronomiques ont été l'objet d'un véritable engouement. De nouveaux best-sellers (par exemple Benzécri, 1973 ; Lebart *et al.*, 1979) s'ajoutent au rayon « ouvrages de base » de la bibliothèque des agronomes. Certains prophétisent qu'on va ainsi révolutionner l'accès au savoir agronomique en étendant de façon illimitée la gamme des facteurs testés. Cette illusion s'est rapidement dissipée, au vu du caractère contingent et peu informatif des liaisons détectées entre variables. Mais l'apport de ces méthodes aux étapes préliminaires de tri et de description globale des données est désormais bien reconnu, et intégré à sa juste place dans la panoplie des méthodes de l'agronomie. La figure 2.9 montre un exemple où l'analyse a permis de réordonner les facteurs et conditions limitants mis en avant pour

20. Comme on le verra plus loin, l'« expérimentation-système » ne répond pas au même objectif comparatif qu'une expérimentation classique.

21. La nouveauté ne réside pas dans la pratique de l'enquête et plus globalement du diagnostic en situation non expérimentale (voir les études datant des années 1950 citées dans *Le Profil cultural*), mais dans leur reconnaissance comme voie majeure d'acquisition des connaissances en agronomie.

22. Notamment l'Observatoire Colza installé par le Cetiom en 1982 (Palleau, 1993).

expliquer les variations du rendement d'une culture. Comme celles associées à l'expérimentation, elles ont fait l'objet de raffinements progressifs, tant dans la construction des dispositifs de recueil des données que dans l'analyse de ces dernières.

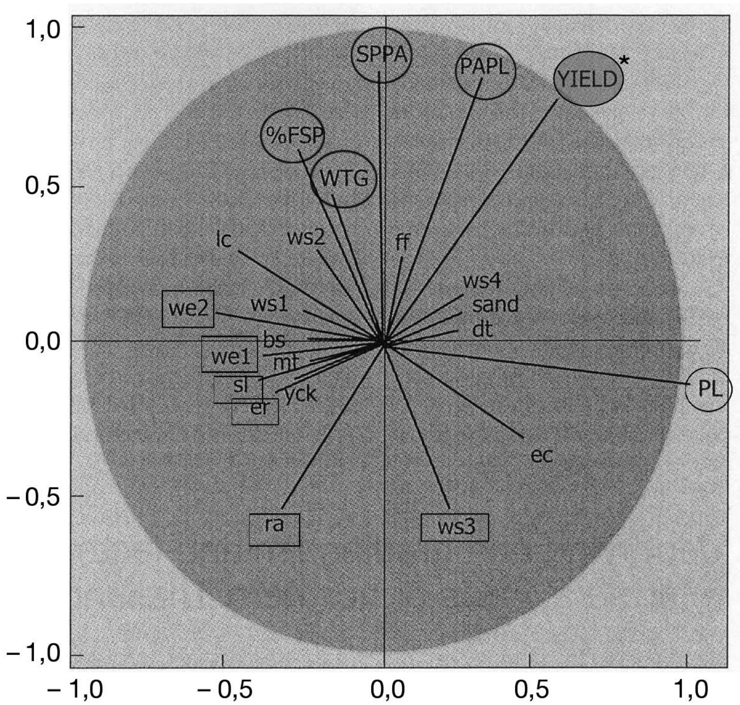


Figure 2.9. Analyse en composantes principales de variables instrumentales (ACPVI) en vue d'une hiérarchie des facteurs et conditions limitant le rendement du riz pluvial en parcelles paysannes semées en poquets au nord de la Thaïlande (d'après Van Keer et Trébuil, 2017).

Sur le premier axe, la compétition des adventices, précoce (we1) ou tardive (we2), ainsi que la pente (sl) et l'érosion (er) sont associées avec un nombre de plantes/m^2 (PL) plus faible, sans affecter les autres composantes du rendement (deuxième axe). Les attaques de pucerons des racines (ra) limitent tous les ans le nombre de panicules par plante (PAPL), le nombre d'épillets par panicule (SPPA) ainsi que le rendement final (Yield), opposition nette sur le deuxième axe. Sur ce même axe, le déficit hydrique (ws3) affecte la fertilité des épillets (%FSP) et le poids d'un grain (WTG) une année sur quatre. Il n'y a pas d'effets notables de la jachère forestière (ff), des maladies (bs), des aspects physiques (sand) ou chimiques (k) du sol, du nombre de cycles rizicoles successifs (yc), ni du type de travail du sol, superficiel (mt) ou plus profond (dt). Les cultivars tardifs (lc), opposés sur le plan à ceux précoces (ec), ont un effet limité sur les composantes du rendement en faveur des tardifs.

* Variable supplémentaire ; 432 placettes sur 4 cycles en un seul site ; inertie des axes 1-2 : 84 % ; pertinence de l'ACPVI : 37 %.

Simuler et explorer les variations : l'ère de l'usage des modèles

Dès lors que les modèles disponibles permettent de décrire les comportements des agroécosystèmes en réponse aux perturbations complexes que constituent les interventions culturales, leur usage s'élargit au-delà de la recherche. L'agronome est en mesure d'adopter une attitude à la fois proactive et ouverte vis-à-vis de la variabilité des phénomènes. Au lieu de la subir telle qu'elle s'exprime *in situ* et *in vivo*,

ou de la restreindre à deux ou trois facteurs dans le cadre d'un essai, il s'agit de la reproduire *ex ante* et *in silico*, dans les limites imposées par la structure même du modèle : on ne peut faire varier que les variables d'entrée et les paramètres qui y sont présents. On peut alors s'affranchir du caractère non manipulable de certains objets d'étude (le bassin-versant par exemple), qui interdit l'expérimentation classique basée sur la comparabilité des variantes expérimentales à un témoin. On peut aussi multiplier les combinaisons de facteurs et les contextes expérimentaux en échappant aux contraintes matérielles d'implantation et de suivi des essais, ou aux limites inhérentes à l'enquête en milieu réel, notamment le caractère déséquilibré ou incomplet de l'échantillonnage.

Nous avons déjà évoqué la démarche, désormais courante en recherche, qui consiste à tester un modèle pour le valider ou l'améliorer, que ce soit en le simplifiant ou en le complétant, quitte finalement à l'abandonner et opter pour un autre schéma conceptuel. Un usage d'application plus large met la simulation au service du diagnostic. Les écarts plus ou moins importants que l'on fait apparaître en confrontant les résultats observés dans la réalité aux résultats simulés permettent de comparer les situations réelles et virtuelles. Sous réserve que l'on se situe dans le domaine de validité du modèle, l'accord modèle-observations signifie que les perturbations subies dans la réalité correspondent aux stress pris en compte dans le modèle. Les déviations révèlent l'influence d'autres facteurs qui peuvent faire l'objet d'un diagnostic plus approfondi si l'on dispose d'informations complémentaires sur les facteurs non pris en compte par le modèle. Ce type d'application a été utilisé dans la recherche des causes du plafonnement des rendements des cultures, en concluant qu'une large part pouvait en être attribuée au changement climatique (Académie d'agriculture de France, 2010 ; Brisson *et al.*, 2010).

Un deuxième type d'application, prédominant à ce jour, est l'exploration par expérimentation virtuelle. On y retrouve les bénéfices de l'isolement des facteurs de variation, le modèle permettant de simuler de façon contrôlée et distincte l'action des différentes variables d'entrée. En France, les premiers exemples sont apparus dans le sillage de Stics, là encore pour analyser l'effet du changement climatique[23] sur le rendement de diverses cultures (Brisson et Levrault, 2010), ou évaluer les capacités de réduction de la pollution nitrique par les cultures intermédiaires (Justes *et al.*, 2012). Des expérimentations virtuelles ont également pu être menées grâce aux modèles Simple, relatif à l'implantation des cultures (Dürr *et al.*, 2016), et FlorSys, qui modélise la dynamique d'évolution des flores adventices (Colbach *et al.*, 2019) (encadré 2.3). Par rapport aux réseaux expérimentaux pluriannuels et multilocaux les plus importants, l'expérimentation virtuelle permet d'accroître de plusieurs ordres de grandeur l'ampleur des plans d'expérience, et renforce la capacité du système de recherche-développement à renouveler les références techniques (Angevin *et al.*, 2020). Les limites sont alors liées aux capacités de manipulation et surtout d'interprétation des jeux de données issues des simulations. Et quelle que soit sa puissance, l'expérimentation virtuelle reste avant tout une exploration, qui suscite et appuie une démarche de réflexion anticipatrice et de partage de points de vue. Son efficacité est donc accrue quand les usagers ont été impliqués dans la conception du modèle de simulation.

23. Analyse exploratoire et non rétrospective comme dans le cas précédent.

Décloisonner les démarches face à l'hyper-variabilité : l'ère des combinaisons de méthodes

À la fin des années 1990, l'explosion thématique liée aux enjeux environnementaux a pour effet d'amplifier de façon drastique la variabilité des contextes et des pratiques de production végétale. Aux nouveaux impacts et processus à considérer correspondent de nouveaux critères d'évaluation des performances. Chacun de ces nouveaux impacts et processus réagit de façon particulière, et très souvent imperceptible[24], aux variations des conditions de milieu ou des modalités d'intervention technique. De surcroît, alors que jusqu'au début des années 2000, l'intensification et la spécialisation ont sans doute eu tendance à réduire la variabilité des conditions de milieu, on peut présumer qu'elle ait plutôt réaugmenté, pendant la dernière décennie, du fait des restrictions d'emploi des produits phytosanitaires ou engrais azotés, et de la diversification des itinéraires d'implantation des cultures (Boiffin *et al.*, 2020). Dans un tel contexte, la difficulté et le coût d'acquisition des références techniques, et plus généralement de toutes les informations nécessaires au diagnostic et à l'aide à la décision, s'accroissent considérablement, alors même que le besoin d'extension et de renouvellement des référentiels est lui aussi fortement accru. L'augmentation de la puissance de travail qu'apportent d'une part la modélisation, d'autre part l'automatisation du recueil et du traitement des données, ne suffit pas à relever ce défi. Le progrès méthodologique décisif est à rechercher dans la mise en synergie des différentes méthodes qui permettent d'appréhender la variabilité pour en extraire des relations reproductibles, interprétables, généralisables et exploitables pour l'aide à la décision.

Avant même l'émergence des questions environnementales, et au cœur de la phase d'intensification triomphante des décennies 1970 et 1980, la complexité de certains problèmes soulevés par les agriculteurs et techniciens, même de technicité très élevée, sollicitait déjà l'inventivité des agronomes pour apporter diagnostic et solutions en un délai assez court, de l'ordre de deux à trois années d'étude. Face à ce type de sollicitation, la combinaison entre enquête, expérimentation et simulation a fait ses preuves dans le cadre de plusieurs programmes de recherche-développement menés à l'échelle de petites régions agricoles. La figure 2.10 schématise la combinaison adoptée dans un des tous premiers chantiers de ce type. On voit apparaître plusieurs éléments-clés de la synergie entre ces méthodes :

– un précadrage plus efficace grâce à l'explicitation des hypothèses : le modèle (ici le bilan prévisionnel de l'azote évoqué précédemment) guide la conception d'ensemble du dispositif, bâti autour de l'hypothèse centrale que la disponibilité en azote est la source majeure de différenciation du comportement de la culture entre les situations observées ;

– une coordination des différentes composantes de ce dispositif, avec des termes de passage permettant une comparaison étendue entre toutes les situations observées ;

– un partage des tâches face à la variabilité des facteurs et des conditions influant sur les variables d'intérêt (le rendement du blé). La simulation est censée prendre en charge tout ce qui influe sur les processus modélisés (la dynamique de l'azote dans le système sol-plante). Les deux autres méthodes s'appliquent à ce qui reste inexpliqué

24. Contrairement aux perturbations subies par les cultures, les fuites de nitrates, émissions gazeuses et autres impacts environnementaux sont inaccessibles à l'observation directe des acteurs de terrain, ce qui rend peu praticable l'amélioration par essai-erreur.

par le modèle. Au passage s'opère un changement de variable, qui consiste à considérer non plus la variable d'intérêt, mais l'écart entre ses valeurs observées et prédites (ici le rendement-objectif à la dose issue du bilan prévisionnel). Les variations de cet écart sont à mettre en rapport avec les variables non prises en compte par le modèle du bilan prévisionnel (par exemple, l'état structural du sol ou les bioagresseurs). L'usage du modèle réduit ainsi le degré de complexité du diagnostic qui reste à faire.

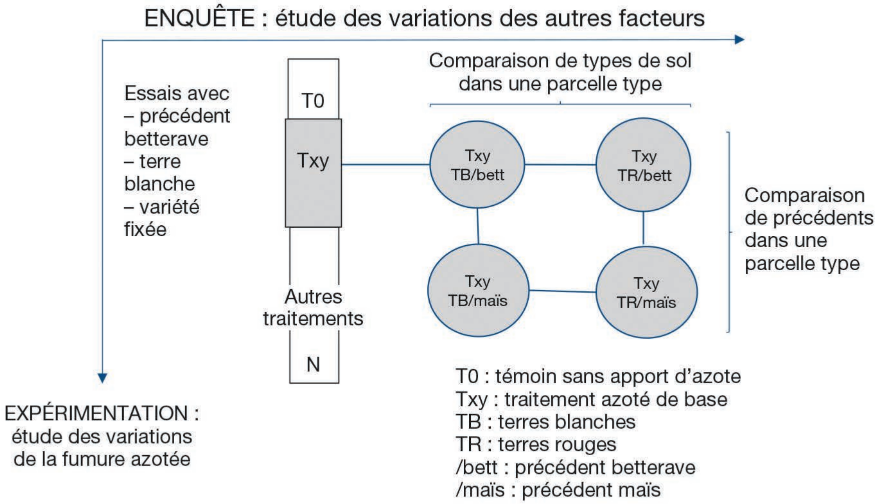


Figure 2.10. Schéma d'un dispositif associant enquête, expérimentation et modélisation en vue du diagnostic sur les facteurs de variation du rendement du blé d'hiver en Champagne crayeuse (Boiffin *et al.*, 1981).

Par la suite, la combinaison des méthodes a été mise en œuvre de plus en plus couramment, au fur et à mesure que s'accroissaient la complexité des problèmes abordés et l'ampleur des gammes de variation des facteurs et conditions à appréhender. Cette combinaison a pris des formes très diverses, avec selon les cas un emploi simultané ou successif des méthodes. Dans le cadre du plan Écophyto lancé en 2008, le vaste dispositif national Dephy[25] a été mis en place, associant d'une part un réseau d'environ deux mille exploitations agricoles où sont mis en œuvre divers types de pratiques économes, d'autre part un grand « méta-réseau » expérimental fédérant plusieurs dizaines de réseaux d'essais pluriannuels et multilocaux où sont mis en comparaison des systèmes de culture fortement innovants (cellule d'animation nationale Dephy, 2020). Plus récemment encore, un dispositif de structure analogue, mais d'inspiration plus productiviste, a été implanté par les instituts techniques liés aux systèmes de grande culture (réseau Syppre[26]).

Outre l'association enquête-expérimentation pratiquée à grande échelle, les dispositifs susmentionnés consacrent l'avènement de l'« expérimentation-système », modalité qui relève d'une hybridation de l'enquête et de l'expérimentation plus que de cette dernière

25. Dephy : Démonstration, expérimentation et production de références sur les systèmes économes en phytosanitaires.
26. Syppre : Systèmes de production performants et respectueux de l'environnement (https://syppre.fr/).

exclusivement. Elle consiste à comparer différents systèmes de culture ou itinéraires techniques, certes dans le cadre d'un essai et de façon contrôlée. Mais ces essais ne servent que très secondairement à tester les effets globaux de ces variantes complexes sur les variables d'intérêt. Leur but est avant tout de permettre l'analyse des chaînes de processus mises en jeu, et de détecter, voire confirmer, la hiérarchie de ces processus dans la différenciation des comportements des systèmes observés faisant l'objet d'« enquêtes internes ». Ce qui est objet de conclusion généralisable, ce n'est pas tant le caractère plus ou moins performant des variantes que la nature des leviers que l'on a actionnés en les mettant en œuvre. L'expérimentation-système a été pratiquée « comme M. Jourdain faisait de la prose » bien avant l'apparition du vocable, sur des expérimentations de moyenne à longue durée et à propos de thèmes tels que la durabilité des monocultures[27], l'effet de la prairie dans les successions de culture[28] ou le système de travail du sol[29]. Son extension a connu une forte accélération en lien avec la mise en cause des niveaux d'intensification des itinéraires techniques initiée par Meynard (1985)[30]. Elle est encore accentuée aujourd'hui dans la perspective d'une diminution drastique du recours aux pesticides impliquant des changements radicaux dans les successions de cultures et itinéraires techniques. Aujourd'hui, le nombre d'expérimentations pluriannuelles relevant en France de cette catégorie dépasse la centaine, les réseaux Dephy et Syppre comprenant respectivement plus de 80 expérimentations pluriannuelles et multilocales, et cinq plateformes de grande ampleur.

Dans le courant des années 1990, la prise en charge d'enjeux techniques et socio-économiques plus diversifiés que ceux directement liés au rendement, notamment relatifs à l'environnement, mais aussi aux conditions de travail, a conduit à promouvoir l'évaluation multicritère. Un premier pas dans cette voie a été l'essai de mise en œuvre des méthodes d'analyses de cycle de vie (ACV), notamment dans le cadre des bilans environnementaux entrepris dès 1992 à l'initiative des filières oléoprotéagineuses, pour évaluer le bénéfice environnemental de la culture de colza-diester (Risoud, 2007). Dans ce même cadre, les premiers perfectionnements consistent à élargir l'éventail de critères (Gosse *et al.*, 2001). Par la suite, la priorité consiste à faciliter l'application de l'évaluation multicritère à l'ensemble des variantes techniques et critères à considérer, y compris ceux documentés de façon trop fruste pour appliquer l'ACV. Il s'agit de rendre les procédures plus accessibles aux non-spécialistes pour pouvoir les impliquer dans des démarches participatives (encadré 2.3, figure 2.8c). Un jalon marquant de ce progrès est la mise au point de l'outil MASC (Sadok *et al.*, 2009), qui a rencontré un large écho dans les organismes de développement et a été utilisé dans de nombreuses études, en préalable ou en prolongement de l'enquête, ainsi que de l'expérimentation réelle ou virtuelle (par exemple Sester *et al.*, 2015 ; Craheix *et al.*, 2016).

27. Sujet central des expérimentations historiques de Rothamsted (Macdonald *et al.*, 2018) en Angleterre et Grignon (Péquignot et Récamier, 1961).

28. Expérimentations implantées au début des années 1960 notamment à Lusignan (Vienne) (Jacquard *et al.*, 1969) et à Montluel (Ain) (Sebillotte, 1968).

29. Essais sur la suppression du labour implantés au début des années 1960 à Grignon puis en plusieurs sites français par l'ITCF (Bodet *et al.*, 1976).

30. Dans les instituts techniques et chambres d'agriculture, de nombreux essais sont alors implantés pour comparer les itinéraires techniques plus ou moins intensifs selon ce schéma. À l'Inra, le vocable « essai-système » désigne explicitement toute une génération d'expérimentations de moyenne durée (de l'ordre de 3 ou 4 cycles de rotation) installées au cours des années 1990 (Toulouse, Mons-en-Chaussée, Dijon, Rennes, etc.).

⏩ La révolution numérique, vecteur du développement de l'agronomie

Depuis 1945, l'agriculture comme l'agronomie ont été influencées de multiples façons par le courant intense et ininterrompu d'innovation technologique dans la métrologie, et l'informatique au sens large. Cette influence va bien au-delà d'une modernisation progressive qui aurait accompagné et facilité le travail des agronomes. Lorsqu'elles sont entrées en résonance avec des progrès conceptuels ou méthodologiques, les évolutions technologiques ont engendré ou permis de véritables sauts qualitatifs. Nous cherchons ici à repérer et illustrer certaines de ces avancées, sans prétention à l'exhaustivité.

Constituer des chaînes continues d'acquisition, de gestion et de traitement des données

L'usage de l'informatique dans le cadre de centres de calcul est apparu d'abord au niveau de la recherche-développement agronomique à la fin des années 1960, y compris au sein des instituts techniques. Il a d'abord permis de réaliser automatiquement les calculs statistiques et d'écourter drastiquement cette étape très laborieuse. Vers le début des années 1980, les micro-ordinateurs se dotent de tableurs (Multiplan, KMan et autres), puis des enregistreurs de données portatifs apparaissent, permettant de saisir et de stocker les données au champ, y compris les notations visuelles ou les mesures faites manuellement. L'utilisation conjointe de ces deux types d'équipements permet dès la fin des années 1980 d'enchaîner collecte, stockage, gestion des données, calculs et représentation des résultats, sans reprise manuelle intermédiaire. Il en résulte un considérable accroissement de la puissance de travail des expérimentateurs, et une forte extension des capacités d'investigation, que ce soit par expérimentation ou par enquête. Au-delà de la sphère de la recherche, toute l'activité d'acquisition des références techniques est concernée. Cela va de pair avec un accroissement d'un ou plusieurs ordres de grandeur du volume des jeux de données traités.

Une deuxième avancée notable est l'automatisation de certaines procédures de diagnostic-conseil lourdes et complexes. L'exemple emblématique en est le logiciel Ceres (voir p. 75) qui, à partir du début des années 1970, permet une interprétation automatisée des analyses de terre jusqu'à l'édition d'un bulletin de prescription. C'est un premier pas décisif dans la mise en œuvre à grande échelle de la fertilisation raisonnée, suivi par beaucoup d'autres dans le même domaine. Ainsi, l'informatisation des calculs de bilan prévisionnel à partir des reliquats d'azote et de la méthode du bilan, grâce au logiciel Azobil à la fin des années 1980, entraîne un décollage de la demande de conseils en matière de fertilisation azotée (Julien, 2017).

Bien que spectaculaire, la progression de la prescription raisonnée et du diagnostic-conseil consécutive à l'automatisation des procédures a rencontré d'autres limites. Par exemple l'espoir que, grâce à l'informatique, l'agriculture raisonnée serait largement adoptée s'est révélé quelque peu illusoire, alors même que l'informatique l'a été massivement (Hémidy, 1994). L'obstacle principal n'était pas le verrou technologique, mais la difficulté d'intégration des procédures d'aide à la décision dans le processus mental réel des agriculteurs (Meynard *et al.*, 2002; Cerf et Meynard, 2006). *A contrario*, certains succès de la fertilisation raisonnée – par exemple la réglette azote-colza, mise au point par le Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains

(Cetiom) au début des années 1990 (Reau *et al.*, 1997) – se sont appuyés initialement sur des formes d'automatisation beaucoup plus rustique, sans support informatique.

Donner à l'agronomie des capacités de formalisation inédites et diversifiées

Au-delà des bénéfices avant tout matériels que procure l'automatisation, l'informatique a apporté à l'agronomie des possibilités de formalisation nouvelles. Un premier aspect est le déblocage, pour ainsi dire quantitatif, car il reste intimement lié à l'automatisation des calculs et de la gestion des données, de l'accès à la modélisation et à l'approche systémique dont elle est le vecteur. Cela s'est traduit par l'augmentation du nombre de travaux de recherche dédiés à la modélisation. Dans le même temps, on note une complexification des systèmes modélisés se traduisant par exemple, dans le cas des modèles de cycles biogéochimiques, par l'augmentation du nombre de compartiments et processus pris en compte. De façon plus qualitative, une innovation de rupture s'opère avec l'appropriation des différents langages de programmation. Ces derniers permettent de représenter de façon concrète, et sous des formes algorithmiques très variées, des entités ou processus dont la représentation restait auparavant plus ou moins littéraire, voire graphique. C'est par exemple le cas des règles et des processus de décision des acteurs qui, en devenant modélisables, deviennent aussi l'objet d'études plus complètes et approfondies, notamment sur les choix stratégiques en matière d'assolements, d'équipements et d'organisation du travail (Attonaty *et al.*, 1991 ; Chatelin *et al.*, 1993).

Dans l'élaboration des modèles de fonctionnement de l'agroécosystème, il devient possible d'enchaîner et d'articuler des modules de nature et formalisme hétérogènes (encadré 2.3). Certains sont qualitatifs-discrets, d'autres quantitatifs-numériques, donnant ainsi la possibilité d'une représentation automatisée de processus trop complexes pour pouvoir être simulés « à la main », si ce n'est sur un très petit nombre de cas. Les interactions croissance-développement, la conjonction de divers types de stress, et finalement l'intervention de processus spatiaux peuvent alors être prises en compte et combinées entre elles. Par exemple, dans le modèle Simple, l'émergence et le début de croissance de la plantule sont décrits grâce à la combinaison d'une maquette informatique qui permet de simuler le trajet d'une plantule dans un lit de semences plus ou moins motteux, avec des processus quantitatifs (en l'occurrence, l'élongation au cours du temps) et/ou qualitatifs (émergence et survie *vs* blocage et mort de la plantule). Pour couronner le tout, la représentation informatisée permet l'articulation des modules représentant les processus décisionnels avec ceux dédiés au fonctionnement biophysique des agroécosystèmes. Les modèles DéciBlé et Otelo en sont les premières illustrations.

Le revers de la médaille est un risque de fuite en avant modélisatrice par les chercheurs, qui fait reposer l'essentiel des applications de la recherche sur les sorties ou applications de modèles, livrées sur commande au développement ou aux pouvoirs publics, ou au moyen de l'accès à des plateformes de modélisation. Le bien-fondé de l'objectif de partage des ressources est évident. Mais l'usage des modèles issus de la recherche par les techniciens et ingénieurs du développement agricole n'est pas uniquement limité, tant s'en faut, par l'accès aux ressources méthodologiques

et technologiques[31]. Le problème n'est d'ailleurs pas à sens unique. L'attitude symétrique des agronomes de la sphère recherche-développement professionnelle, pour le moins attentiste à l'égard des modèles disponibles et de la modélisation en général, n'est pas moins critiquable.

Observer et mesurer plus pour mieux expliquer

De nombreuses variables dites « intermédiaires », qui figuraient en bonne place et en grand nombre dans les graphes conceptuels et systémiques des années 1970, sont devenues mesurables *in situ* lors de la décennie suivante. Elles peuvent être renseignées, à des pas de temps et d'espace, à des fréquences, sur des étendues, et enfin à des coûts qui rendent leur recueil réalisable dans le cadre d'enquêtes ou d'expérimentations de grande ampleur. Par exemple la température, l'humidité, la densité apparente du sol, le rayonnement intercepté, les propriétés optiques de la surface du sol et du feuillage et bien d'autres variables sont désormais enregistrables au champ et « en routine », avec certes des angles morts qui perdurent, notamment concernant l'enracinement des plantes, toujours aussi difficile à observer.

La confrontation des hypothèses et des modèles agronomiques aux conditions de la pratique agricole devient plus largement réalisable. C'est notamment le cas pour les approches écophysiologiques basées sur le paradigme de captation-conversion et les modèles de culture dont elles sont le fondement. Il devient possible de tester leur capacité à représenter les effets des techniques culturales, au premier rang desquelles celles qui jouent sur les durées de cycle et les efficiences d'interception (dates et densités de semis, précocité variétale). Il devient aussi envisageable d'affiner les démarches de diagnostic et de prescription en les faisant porter sur des cibles plus précises que la production globale de biomasse ou le rendement, tout en les pratiquant à des échelles plus vastes. Une illustration typique en est donnée par le diagnostic de nutrition azotée basé sur la radiométrie du feuillage (Lemaire, 1997), praticable au champ, et dont découle un conseil de fractionnement des apports plus précis et flexible. Dès la fin des années 1980, le pilotage de l'irrigation à l'aide de mesures micrométriques sur les fruits (Huguet, 1985), puis surtout de tensiomètres dans le sol, relevait déjà de cette démarche explicative appuyée sur la technologie (Tron *et al.*, 2013). La gestion quantitative de l'eau s'est par la suite confirmée comme domaine d'application privilégié de cette démarche (Burger-Leenhardt *et al.*, 2018), qui se déploiera aussi particulièrement dans le contexte de l'horticulture sous serre, à travers la régulation automatique de la température, de l'hygrométrie et des apports d'eau ou solutions nutritives. Pour les situations de plein champ, son développement reste limité aux quelques cas d'école susmentionnés avant de s'intégrer à la problématique plus vaste de l'agriculture de précision évoquée plus loin. Le progrès technologique ne lève pas à lui seul tous les obstacles au développement d'une agronomie explicative, surtout dans des contextes professionnels où il faut aller de plus en plus vite pour fournir les conseils et produire les références.

Par la suite, les travaux de recherche et la collecte de références sur les problématiques agro-environnementales s'avèrent très gourmands en données à haute résolution spatio-temporelle. L'application de ces protocoles sur de longues durées, par exemple

31. On retrouve ici le caractère illusoire, en agronomie comme dans bien d'autres domaines, du schéma de transfert linéaire des innovations (chapitres 5 et 8).

dans le cadre des Observatoires de recherche en environnement (ORE) mis en place dans les années 2000, mais aussi dans nombre d'essais-systèmes lancés à l'initiative des organismes de développement, repose sur l'installation de dispositifs instrumentaux certes très coûteux, mais désormais réalisables si l'investissement est partagé.

Dans ce domaine, le développement des méthodes de télédétection mérite un signalement particulier (encadré 2.4), car, tout en illustrant pleinement les considérations précédentes, il apporte une réponse spécifique aux problèmes d'extension spatiale et temporelle des observations, et d'agrandissement des entités spatiales à étudier. Couplée aux méthodes de diagnostic agronomique les plus actuelles (notamment en matière de nutrition azotée), la télédétection a donné naissance à des systèmes de prescription raisonnée à la fois très précis dans leur adaptation locale, et industrialisés à grande échelle, comme Farmstar (figure 2.11) à partir de 2002.

Encadré 2.4. Télédétection et applications agronomiques : bref historique
Agnès Bégué

Depuis le début du programme Landsat en 1972, les systèmes de télédétection se sont multipliés. Plus d'une centaine de satellites observent la Terre à différentes échelles et fréquences, munis de capteurs opérant dans des spectres de longueurs d'onde allant du visible aux micro-ondes. Les applications agricoles pionnières sur la production de blé aux États-Unis, la cartographie des cultures, l'estimation des rendements, ont été suivies à la fin des années 1980 par la validation de l'usage des subventions agricoles de l'Union européenne avec le satellite SPOT. Après l'an 2000, l'offre commerciale a donné accès à une résolution spatiale de l'ordre du mètre, voire moins, permettant de nouvelles applications (cartographie d'infrastructures, de plantations avec individualisation des arbres, etc.), mais le coût des images n'autorisait pas un suivi fréquent sur de vastes étendues. Longtemps les promesses de la télédétection agricole ont été déçues par les limites techniques du couple fréquence d'acquisition des images-résolution spatiale.

Depuis quelques années, les satellites européens Sentinel-1 (radar) et Sentinel-2 (optique) du programme Copernicus offrent une couverture planétaire régulière tous les six et cinq jours respectivement. La résolution spatiale convient aux systèmes de culture, à l'agriculture de précision, et la fréquence des images au suivi de la croissance. Le prétraitement des images facilite leur usage et la comparaison des données dans l'espace et le temps. Leur potentiel est important pour de nouvelles applications agronomiques comme le suivi spatialisé des pratiques culturales (Bégué *et al.*, 2018). Brumes et nuages restent un problème en régions humides, tandis que le traitement des importants volumes de données des images exige équipements informatiques et compétences spécifiques, ce qui limite leur usage.

L'accès aux données satellitaires est facilité par des initiatives nationales : pôle de données et services pour les surfaces continentales Theia sur l'occupation et l'humidité des sols, projet Equipex Geosud fournissant aux acteurs publics français la couverture annuelle du territoire à résolution métrique et des services. La démocratisation de l'accès aux données et outils est réelle, mais leur exploitation est liée à une technologie qui reste complexe, évolue vite et doit se prémunir du piège de la production cartographique « hors sol » sans connaissance des systèmes de culture observés.

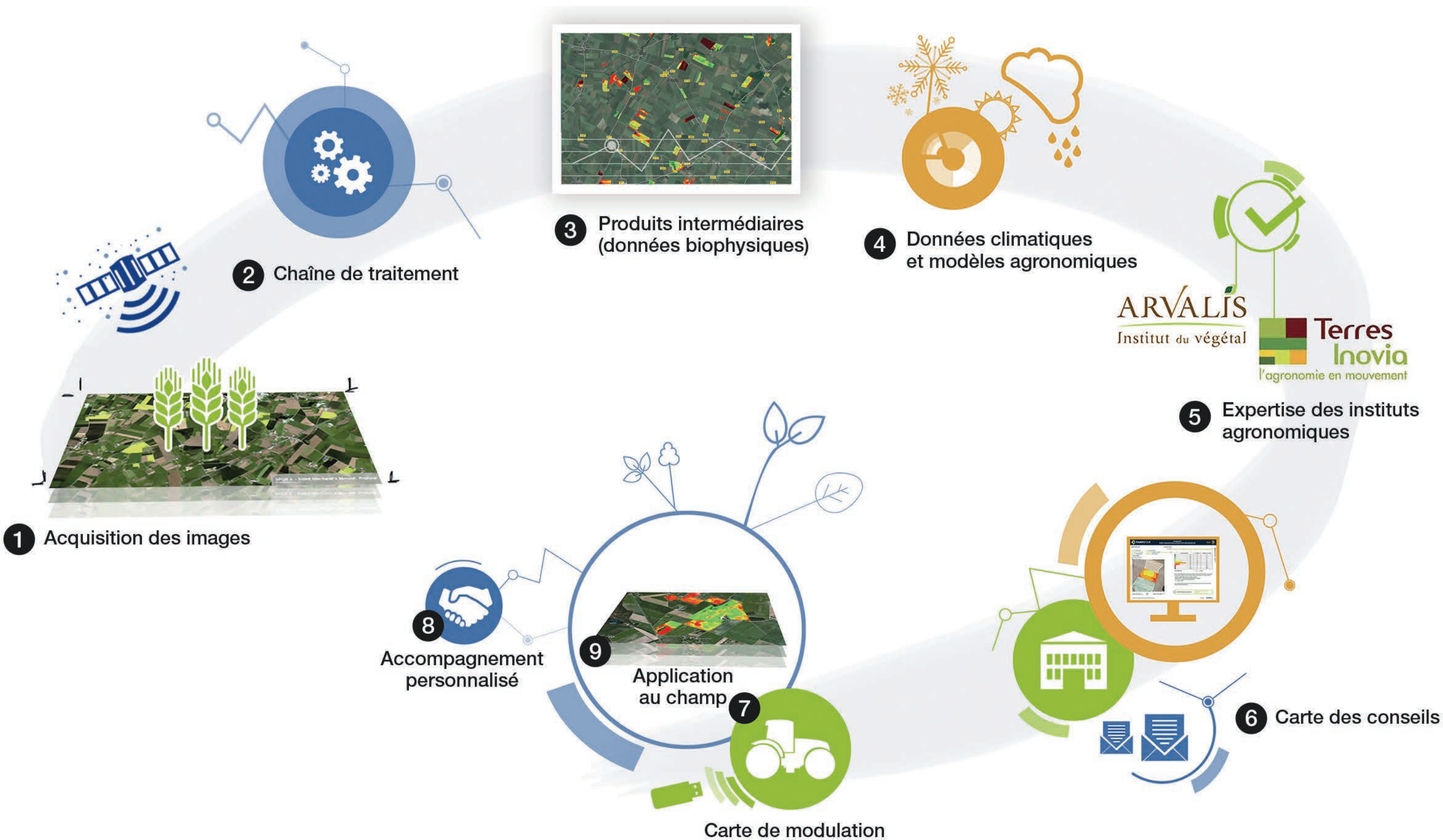


Figure 2.11. Présentation du service Farmstar (Arvalis-Institut du végétal, Terres Inovia en partenariat avec Airbus Defence and Space) : états des cultures par images satellites ou aériennes, interprétation par modèle en tenant compte des paramètres locaux, conseil de fertilisation azotée à la parcelle par zone homogène, possibilité de moduler les apports (Blondlot, 2004). https://www.farmstar-conseil.fr/.

Constituer et interconnecter les bases de données pour spatialiser et étendre les démarches

Jusqu'au milieu des années 1970, les données météorologiques ou les statistiques agricoles ne pouvaient être utilisées dans les études agronomiques sans être retranscrites manuellement pour pouvoir être intégrées dans les calculs. La lourdeur de ces manipulations limitait fortement la gamme de variabilité explorée. Ainsi, les études dites « fréquentielles » censées prendre en compte la variabilité climatique ne couraient souvent que sur une vingtaine d'années. À partir des années 1980, la numérisation des données et la possibilité d'importer automatiquement les fichiers aboutissent à la mise à disposition de certaines bases de données (Recensement général agricole, données météorologiques de base, etc.). L'accès à ces données a parfois été limité par des problèmes réglementaires, administratifs ou financiers, ralentissant leurs utilisations par les agronomes. Le cas des données relatives aux sols est extrême, car à ces difficultés s'ajoutent le caractère lacunaire de la couverture cartographique, l'hétérogénéité du recueil des informations et l'inadéquation des échelles de cartographie, le plus souvent trop petites pour fournir des données agronomiques exploitables. Cette situation problématique ne commencera à être sérieusement résolue qu'à la faveur du programme Inventaire, gestion et conservation des sols (IGCS, chapitre 9), lancé dans les années 1990.

Suite à la disponibilité de bases de données, l'interconnexion de différentes couches d'informations est un nouvel atout pour l'étude des agroécosystèmes. L'irruption des systèmes d'information géographique (SIG) dans la sphère agronomique au cours des années 1980 permet de mettre en relation des informations localisées de nature diverse et provenant de multiples sources, dont la télédétection, *via* des algorithmes plus ou moins complexes. Cette innovation a été rapidement et intensément valorisée en science du sol (King, 1986[32]). Pour l'agronomie, elle représentait potentiellement un bond, qui ne sera exploité qu'avec un notable décalage[33] en raison des difficultés susmentionnées et de la nécessité de transcrire les référentiels d'inspiration pédogénétique en typologies agronomiques.

Accessibilité et interconnexion des bases de données conditionnaient la faisabilité des travaux relevant de l'expérimentation virtuelle, et par la suite des expertises et études collectives en réponse à des commandes publiques. Elles ont aussi permis aux agronomes de mieux caractériser et analyser l'évolution des systèmes de culture à des échelles régionales ou nationales (Burger-Leenhardt *et al.*, 2010). Enfin, elles ont permis à l'agronomie de s'insérer dans les travaux aux « grandes échelles » que menaient déjà depuis longtemps les géosciences telles que l'hydrologie et la géochimie sur les grands bassins fluviaux, en les enrichissant par des analyses fines concernant l'impact des systèmes de culture sur la dynamique de l'azote (Ledoux *et al.*, 2007 ; Mignolet *et al.*, 2007)[34]. Auparavant, le caractère longtemps local et contingent des

32. Ce travail de thèse constitue un jalon et suscitera un profond renouvellement des conceptions en matière d'acquisition, gestion et valorisation des données relatives au sol, la notion de carte s'effaçant au profit de celle de base de données spatialisées.

33. Voir Monestiez *et al.* (2004) : un des tout premiers ouvrages où sont rapportés des travaux d'agronomie faisant appel aux SIG, démarrés à la fin des années 1990.

34. Sans oublier le travail précurseur de Hénin dans le cadre de son rapport sur la pollution nitrique (chapitres 3, 7 et 10).

études relatives aux itinéraires techniques et aux systèmes de culture mettait en doute la consistance scientifique de ces notions spécifiquement agronomiques. Elles n'ont que très tardivement et incomplètement fait l'objet de la constitution de grandes bases de données, en raison des difficultés intrinsèques de caractérisation des objets correspondants. En témoigne le caractère extrêmement sommaire et incomplet de leur description dans les statistiques agricoles. Ainsi, les premières enquêtes systématiques sur les pratiques culturales (1984) se limitent essentiellement à la fertilisation[35] et ne portent que sur certaines catégories de systèmes de production. Les difficultés rencontrées dans l'élaboration de la base de données relative aux systèmes de culture dans le dispositif Dephy Écophyto en sont une autre illustration.

Développer les automatismes dans le secteur des agroéquipements : une sollicitation valorisante pour l'agronomie

Jusqu'à la fin des années 1990, l'électronique puis l'informatique massivement introduites dans les agroéquipements ont été considérées par les agronomes comme des éléments exogènes, relevant du machinisme agricole. L'agronomie n'était concernée que par les retombées de ce progrès technologique, comme l'augmentation des performances dans la réalisation des chantiers. À son apparition dans les années 1990, le terme « agriculture de précision » avait des relents de slogan commercial. Les avantages des principales applications effectivement opérationnelles (notamment en matière de géolocalisation et de guidage des outils) étaient avant tout ergonomiques, l'agronomie n'étant toujours pas concernée.

Un changement d'attitude s'opère à la fin des années 1990, dont atteste le lancement conjoint par l'Institut technique des céréales et des fourrages (ITCF), le Cemagref et l'Inra de programmes interdisciplinaires auxquels prennent part des équipes d'agronomie (Zwaenepoel et Le Bars, 1997 ; Guérif et King, 2007). Les agronomes prennent alors conscience de deux aspects les concernant au premier chef et jusque-là minimisés. Le premier est plus collatéral que véritablement intrinsèque à l'agriculture de précision. C'est le recueil d'informations géolocalisées au cours des interventions culturales, en particulier des cartes de rendement dont l'analyse en lien avec la variabilité intraparcellaire est d'un intérêt agronomique évident. Le second, de portée plus fondamentale, se rapporte à la possibilité de moduler les réglages, en fonction d'informations locales recueillies en temps réel, ou acquises antérieurement et embarquées. Entre acquisition-traitement des données et asservissement des machines, il y a le maillon des règles de décision qui est bien du ressort de l'agronomie. Sous une forme technologique rénovée, la prescription raisonnée reprend des couleurs. Le système Farmstar déjà évoqué (figure 2.11) favorise la mise en œuvre d'une fertilisation azotée de précision, si l'agriculteur dispose de l'équipement adéquat. Cependant, l'agriculture de précision *stricto sensu* reste pour l'agronomie un domaine d'expression limité. La modulation des dates de semis ou des variétés et *a fortiori* des espèces végétales et des systèmes de culture ne peut se faire au sein d'une même parcelle de culture, sauf à redécouper celle-ci. Quant à la

35. Ces enquêtes seront longtemps intitulées « PK » avant de devenir « pratiques culturales ». L'inaccessibilité des données recueillies a longtemps fait l'objet de plaintes récurrentes de la part des organismes de recherche-développement.

modulation des traitements phytosanitaires, elle relève plutôt de la reconnaissance des symptômes (et des adventices, s'agissant du désherbage de précision) que de règles agronomiques.

Si on étend le concept d'agriculture de précision à la modulation spatiale des décisions techniques, aussi bien entre parcelles qu'en leur sein, le défi est alors beaucoup plus large et stimulant, car il correspond à l'ensemble du domaine de l'agronomie. Il peut répondre aux attentes d'exploitants individuels, mais aussi d'entités plus collectives. C'est le cas des bassins de collecte de produits végétaux au sein desquels il faut optimiser et coordonner certaines interventions influençant la qualité des produits, ou encore des aires de gestion agro-environnementale de toute nature. Aujourd'hui, le *big data* fait naître de nouveaux espoirs à cet égard, avec pour corollaires de nouveaux enjeux de propriété et usages des données, mais aussi de nouvelles illusions, et un risque de régression vers l'approche « boîte noire », si ce n'est de négligence vis-à-vis de la qualité des données.

⏩ Quelle stratégie pour changer d'échelle ? De l'extrapolation à la globalisation

Le parcours qu'a accompli l'agronomie en abordant des niveaux d'organisation de plus en plus complexes et des entités spatio-temporelles de plus en plus vastes est un trait dominant de son évolution depuis 1945 (chapitre 3). Quel en est le corollaire au niveau des démarches ? La variabilité des contextes écologiques et socio-économiques surpasse de loin celle que rencontrent les autres disciplines technologiques moins soumises aux effets du milieu. Nous avons vu quelles stratégies les agronomes ont déployées face à ce problème, pour élaborer localement des diagnostics et solutions techniques, et en définir les domaines d'extrapolation. Mais l'enjeu du changement d'échelle ne se résume pas à l'extrapolation : certaines des questions posées à l'agronomie impliquent d'appréhender le comportement des agroécosystèmes non seulement dans leur immense diversité spatio-temporelle, mais aussi à des niveaux d'organisation inédits, y compris planétaires.

Le découpage géographique

Dans la première phase de notre période d'étude, l'agronomie ne méconnaît pas le problème de l'extrapolation. Au contraire, elle lui donne une place centrale dans ses travaux. Sauf dans le cas de la fertilisation, la plus-value qu'apporte alors l'agronomie aux praticiens ne réside pas tant dans le contenu des références techniques, puisque ce sont souvent les pratiques des « meilleurs agriculteurs », que dans la délimitation des aires au sein desquelles il est recommandé de les adopter. La limite majeure de cette approche est son caractère local. Le découpage de la France en petites régions agricoles donne une trame générale et exhaustive, mais les références ainsi conçues ne peuvent être élaborées qu'au sein d'une (ou d'un groupe très restreint de) petite(s) région(s). Il faut réitérer la démarche sur chaque pavé de la mosaïque, ce qui conduit à des coûts et lenteurs que peu de systèmes de recherche-développement agricoles peuvent accepter. Ce qui peut être transposé d'un pavé à l'autre, ce sont les démarches de caractérisation du milieu. Dès la fin des années 1950, l'agronomie a ainsi tenté de plaider pour importer des démarches de cartographie des sols à haute résolution,

plus pertinentes que celles issues de la pédologie pédogénétique. L'exemple emblématique en est la carte des sols de l'Aisne (Jamagne, 1967) conçue sur le modèle américain appliqué en Belgique, basé sur le concept de série, purement descriptif et non interprétatif (chapitre 9).

Le terme de géoagronomie se rapporte aux travaux de Deffontaines (Benoît *et al.*, 2006; Lardon, 2012), qui à partir de la fin des années 1960 s'intéresse à l'enjeu territorial. Son appréhension des potentialités va à l'encontre de la notion technocratique de vocation agricole : il montre qu'au sein d'un même espace géographique, même relativement restreint, les relations entre milieu et pratiques sont très variables et traduisent des formes d'adaptation très élaborées de l'activité agricole (Deffontaines, 1991). Ce faisant, il incite l'agronome à affiner l'analyse locale avant de chercher prématurément à extrapoler. Beaucoup plus tard, après avoir multiplié les approches monographiques, il avancera le concept unificateur d'unité agrophysionomique (Deffontaines et Thinon, 2001), qui d'une certaine manière réhabilite la notion de petite région agricole tout en réduisant la maille de description. La trame des petites régions agricoles peut fournir une clé d'entrée pertinente pour un premier stade d'analyse de la répartition spatiale des systèmes de culture et de production agricoles (Aouadi *et al.*, 2015). Au total, l'approche géoagronomique s'avère cependant plus efficace en tant qu'étape de précadrage du diagnostic agronomique que de support à l'extrapolation des conclusions, en raison de la variabilité des milieux et des systèmes de production au sein d'une même petite région.

La montée en généralité

Quand il s'agit d'émettre des prescriptions et des diagnostics-conseils, les agronomes doivent mobiliser des connaissances nouvelles sur les relations plante-milieu-techniques, exprimées sous forme de références techniques. Les clés d'extrapolation sont à rechercher dans ces contenus mêmes, et non plus en recourant à des découpages réalisés *ex ante* sur des bases exogènes. En matière de fertilisation raisonnée par exemple, si on a établi une corrélation entre réponse aux engrais et analyse de sol, ce n'est plus la géographie agraire qui fournit un cadre d'extrapolation pertinent, ni même la carte des unités pédologiques. Ce cadre découle de la répartition spatiale de certaines caractéristiques de composition des sols, combinée à celle des antécédents culturaux tels que prairie, défriche, pratiques des différents types d'amendements liées à la présence d'élevages. L'agronomie doit alors choisir, et dans certains cas élaborer elle-même, les typologies qui lui conviennent et peuvent constituer des domaines d'application des diagnostics et conseils : typologies de sols (Boiffin *et al.*, 1981), d'itinéraires techniques (Sebillotte et Servettaz, 1989), de systèmes de culture (Sebillotte *et al.*, 1989; Aouadi *et al.*, 2015) et d'exploitations agricoles (Capillon, 1993). En corollaire de cette autonomisation, l'effort de généralisation et d'extrapolation se déploie selon deux orientations théoriquement complémentaires, mais bien distinctes, et qui n'ont pas toujours été mises en œuvre de façon coordonnée.

La première stratégie consiste à augmenter le nombre de situations observées dans les phases d'élaboration des références, de façon à multiplier les facteurs de variations étudiés et aussi à mieux prendre en compte leurs interactions. Il s'agit d'élargir la gamme des contextes d'étude ou en sens inverse de les distinguer de façon plus fine, et de tester la répétabilité des résultats obtenus dans un contexte donné. Cette stratégie quantitative ne doit pas être aveugle et doit au contraire s'accompagner d'une strati-

fication judicieuse du contexte, éclairée par des hypothèses sur le rôle des différents facteurs et conditions qui interviennent dans son influence. Elle s'est traduite par la mise en place de réseaux expérimentaux de plus en plus vastes pour tester les innovations agronomiques, en particulier les nouvelles variétés. La stratification de ces réseaux en régions pédoclimatiques est ensuite utilisée comme trame de différenciation des conseils de choix des variétés. Mais ce cas précis est presque un contre-exemple du point de vue agronomique, car les évaluations variétales post-inscription restent organisées sur la base d'une régionalisation à fondement empirique. Les interactions génotype-milieu n'étant guère analysées, la répartition géographique des essais garde une part d'arbitraire, et les classements intervariétaux sont de plus en plus instables (Cabeza-Orcel *et al.*, 2020). En dépit des insuffisances de cette stratégie, qui se manifestent lorsqu'elle est mise en œuvre de façon exclusive, l'exigence quantitative qui en est le corollaire ne saurait être éludée. Aussi bien concernant la fertilisation raisonnée qu'en matière de simplification du travail du sol, ou plus récemment de réduction d'usage des pesticides, ce n'est qu'à partir du moment où le nombre de situations étudiées a atteint un certain ordre de grandeur que les principes de raisonnement ont pu être stabilisés. La coordination entre les différents opérateurs est alors cruciale.

La deuxième stratégie s'appuie sur une approche plus explicative, les relations de cause à effet étant présumées plus reproductibles que les corrélations aveugles. Cette orientation est mise en œuvre non seulement à travers la conception des dispositifs d'étude, et en particulier le fait qu'ils s'appuient sur un modèle (au moins conceptuel-qualitatif)[36], mais aussi à travers des protocoles expérimentaux, par le recueil et le traitement de variables intermédiaires révélant les processus qui conduisent aux résultats observés. Ainsi, au milieu des années 1970, la généralisation de la méthode du bilan prévisionnel pour prescrire la fertilisation azotée s'est appuyée sur une conception radicalement nouvelle des réseaux expérimentaux, qui consistait non plus à multiplier partout et sans fin les courbes de réponse aux engrais, mais à tester l'obtention du rendement objectif à la dose prévue par le modèle. L'efficacité de cette stratégie s'est traduite par une réduction drastique de la durée et du coût des études par rapport à la démarche traditionnelle. *A contrario*, c'est aussi à la lumière du modèle explicatif sous-jacent qu'on a pu comprendre pourquoi la méthode était défaillante dans certaines régions comme l'ouest de la France, et dans quel sens elle devait être amendée : dans les régions à hiver doux, la minéralisation ne s'arrête pas, et l'initialisation d'un bilan en sortie d'hiver ne convient plus. Il faut alors s'appuyer sur un modèle de cycle de l'azote plus complet et dynamique, donnant naissance à une version profondément rénovée de la méthode de prescription (Machet *et al.*, 2017). Ainsi, la modélisation, si elle s'accompagne d'un travail de paramétrisation et de validation adéquat, accroît considérablement l'efficacité du processus de généralisation-extrapolation, ce dernier étant défini (et donc guidé) par le domaine de validité du modèle.

La combinaison, selon des proportions variables, de ces deux stratégies se traduit dès la fin des années 1960 par la publication de certaines références sous forme de cartes nationales. Celles des dates de semis, des variétés de maïs sont un des tout premiers exemples de référentiel à assise explicative. Elles sont basées sur la relation entre vitesse de développement et température, qui sera sans tarder relayée et diffusée par les instituts techniques. Dans les années 1970, cette combinaison de stratégies a été appliquée

36. Le terme anglais *process-based* caractérise bien cette orientation.

de façon emblématique à la simplification des techniques de travail du sol, grâce à une coordination, dans ce cas exemplaire, entre les différentes composantes du système de recherche-développement. Déjà objet d'un vif intérêt à la fin des années 1960, cette innovation et ses différentes variantes étaient abordées selon le schéma de relation directe technique-rendement, sous forme d'innombrables essais implantés à l'initiative des techniciens locaux. Aucune tendance ne se dégageait. Sous l'impulsion de Hénin, Monnier et Sebillotte, l'ITCF installe alors un réseau d'essais de longue durée (Bodet *et al.*, 1976), répartis sur un petit nombre de sites choisis en fonction d'hypothèses précises sur les mécanismes déterminants, en l'occurrence les interactions sol-climat influant sur l'évolution de la structure du sol. Des protocoles d'observation et de mesure détaillés leur sont appliqués, aussi bien sur le comportement des cultures que sur l'évolution du sol. Un schéma interprétatif se dégage, conduisant en France à des préconisations beaucoup moins dogmatiques et beaucoup plus contextualisées que dans d'autres pays. La généralisation des conseils se traduit par des grilles de décision sur le choix des équipements (Arvalis, 2010) prenant en compte différents paramètres de contexte – y compris les objectifs de l'agriculteur –, et non sur des normes régionalisées. Au total, il est très probable que la forme pragmatique, à la fois progressive et diversifiée, qu'a pris la simplification du travail du sol en France (Labreuche *et al.*, 2020) découle de cette stratégie exemplairement agronomique.

Une exhaustivité sollicitée et assumée

La parution récente de plusieurs études et expertises collectives en réponse aux demandes des pouvoirs publics[37] atteste d'un considérable accroissement des capacités de généralisation et d'extrapolation de l'agronomie, car le cahier des charges de ce type d'étude implique une exhaustivité à l'échelle nationale. Au prix bien sûr de certaines approximations, toutes les conditions de milieu et tous les systèmes de culture et de production rencontrés dans ce périmètre doivent être pris en compte (figure 2.12). Cette exhaustivité s'appuie notamment sur des démarches d'expérimentation virtuelle elles-mêmes fondées sur des modèles tels que Stics, mis au point et validés antérieurement. La polyvalence de Stics et la puissance de travail qu'il apporte à ces études de grande ampleur sont certes liées à un important travail complémentaire d'adaptation à un grand nombre de cultures. Mais elles sont aussi dues à l'accroissement de sa capacité de représentation du fonctionnement des agroécosystèmes, par adjonction successive de modules décrivant de nouveaux processus (germination-levée, fonctionnement des racines et alimentation hydrominérale, drainage des nitrates, etc.), y compris ceux liés aux impacts environnementaux (Beaudoin *et al.*, 2019).

Un pas supplémentaire dans l'exigence d'exhaustivité est franchi quand l'agronomie s'implique dans l'élaboration de la réglementation publique, qui s'applique à tous, partout et en toutes circonstances. Un cas particulièrement révélateur est la sollicitation de la communauté des agronomes dans le cadre des groupes régionaux d'experts instaurés suite au contentieux engendré par le non-respect de la directive Nitrates (chapitre 9). Même s'il est paramétré et modulé en fonction des données locales et présente des dérogations, c'est le même schéma de préconisation des doses

37. À INRAE, depuis 2000, une vingtaine d'études ou expertises collectives de grande ampleur, impliquant fortement les chercheurs en agronomie, ont été engagées (voir figure 6.2 et https://www6.paris.Inrae.fr/depe/).

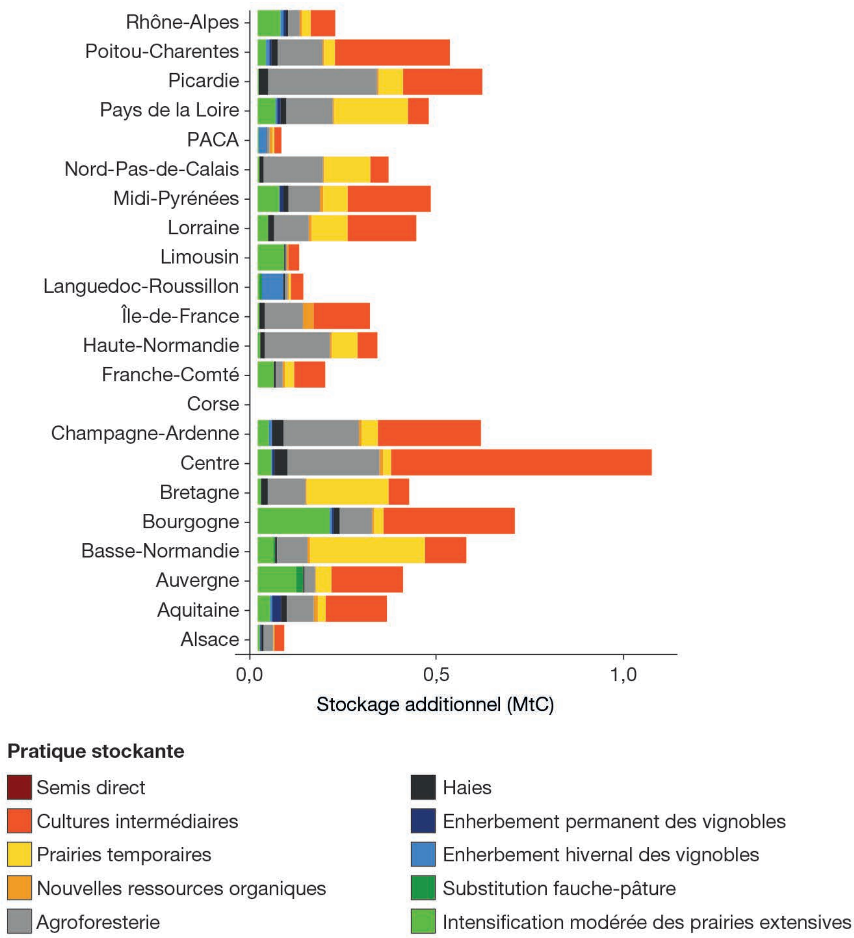


Figure 2.12. Un exemple de démarche agro-environnementale à visée exhaustive : évaluation à l'échelle régionale du stockage additionnel (1) de carbone dans le sol suite à l'adoption de différentes pratiques stockantes : modifications des systèmes de culture, NRO (2), aménagements paysagers, etc. (d'après Pellerin *et al.*, 2019a, actualisé en 2020).

(1) Quantité supplémentaire de carbone stockée dans le sol (sur une profondeur de 30 cm) liée à la modification des pratiques agricoles, en Mt de C.
(2) NRO : nouvelles ressources organiques (composts ou digestats de méthanisation à partir de biodéchets et de déchets verts).

d'apport azoté – tout au moins le même ensemble d'options de schémas de calcul – qui s'applique. Dans l'ensemble, certes non sans avatars (par exemple les discordances de préconisation, en conditions identiques, aux bordures de régions voisines), cette machinerie complexe a fonctionné, permettant d'éviter un plafonnement pur et simple des doses, qui aurait mis au rebut plus d'un demi-siècle de progrès de l'agronomie sur la dynamique de l'azote (Gitton *et al.*, 2020). Ce résultat est à mettre à l'actif de l'effort intense et continu, mené dans le cadre du Comifer, pour étendre à toutes les cultures et modes de fertilisation la mise en œuvre du bilan prévisionnel et autres méthodes de raisonnement basées sur des modèles plus empiriques, mais néanmoins formalisés.

Transposons les leçons de cette expérience aux nombreuses autres thématiques agro-environnementales, et nous voyons aisément que l'agronomie ne doit pas s'endormir sur ses lauriers. Si elle n'est pas en mesure suffisamment tôt de modéliser et paramétrer de façon exhaustive l'effet des techniques et systèmes de culture sur les impacts environnementaux, elle risque d'être court-circuitée. Par exemple, les cadastres d'émission de gaz à effet de serre, désormais établis à diverses échelles, pourraient engendrer des cartes de réglementation phytotechnique interdisant ou imposant telle ou telle modalité ou système de culture. L'implication de l'agronomie dans l'élaboration de la norme, qui malgré le précédent historique que constitue le rapport Hénin est un phénomène récent, au moins par son ampleur, ne doit donc pas être esquivée. Mais il faut avoir conscience de son ambivalence. La reconnaissance de généricité qu'implique l'exigence d'exhaustivité a pour contrepartie un risque de dérive simplificatrice consistant à négliger, voire nier, certains défauts d'adaptation des connaissances agronomiques au nom de l'efficacité à court terme dans la réponse à une commande publique. Au contraire, ces derniers doivent être analysés sans complaisance pour engendrer de nouveaux cycles de recherche et innovation.

Aujourd'hui, le défi de la globalisation

Cette dynamique de généralisation-extrapolation de plus en plus étendue a partie liée avec le développement d'une agronomie globale qui traite les problèmes agricoles et agro-environnementaux aux échelles continentale ou planétaire (chapitres 1 et 3). Dans la littérature internationale, les études agronomiques se situant à ces échelles font suite à la montée, dès 1970, des préoccupations relatives à la limitation des ressources, exprimées notamment par le Club de Rome et le rapport sur « les limites de la croissance » (Meadows *et al.*, 1972). Elles correspondent aussi à l'émergence des modèles de culture, dont les chercheurs de l'université de Wageningen sont alors les pionniers (de Wit, 1958), et qui permettent d'évaluer des potentiels de production agricole face aux besoins alimentaires. Dans ce cas, la démarche est clairement l'extrapolation généralisée d'un modèle stationnel.

Depuis le début des années 1990[38], le caractère prégnant des problématiques de changement global oblige l'agronomie, comme la climatologie ou la géochimie bien avant elle, à considérer la planète comme un écosystème fonctionnel, et non plus seulement comme une vaste étendue aux milieux divers. Au premier rang de ces problématiques figure la lutte contre (et l'adaptation à) l'effet de serre et le changement climatique. Mais bien d'autres enjeux majeurs tels que la préservation de la biodiversité, l'usage et la protection des sols, la maîtrise des risques sanitaires pour l'homme et les animaux d'élevage, mais aussi les cultures, la préservation d'autres ressources renouvelables ou non, et leur juste répartition[39], conduisent de façon incontournable à appréhender l'échelle planétaire, sans d'ailleurs exclure que d'autres entités fonctionnelles d'étendue inédite (continent, pays, grand bassin hydrologique, etc.) soient à considérer.

38. Le fait déclencheur étant à cet égard le célèbre « rapport Brundtland », élaboré dans le cadre de la Commission mondiale des Nations unies pour l'environnement et le développement (1987) et discuté au Sommet de la Terre de 1992.

39. Cas du phosphore dont les terres agricoles de continents entiers restent gravement dépourvues, et dont les ressources minières sont en voie d'épuisement à l'échelle du siècle (Eveillard, 2014 ; Nesme et Withers, 2016).

Pour l'agronomie, c'est un défi sans précédent que d'analyser l'influence de l'agriculture sur les grands cycles biogéochimiques (Pellerin *et al.*, 2014; Cellier *et al.*, 2019), la biodiversité ou le fonctionnement spatial des systèmes agri-alimentaires, en prenant en compte les flux commerciaux intercontinentaux et la spécialisation macrorégionale qui en est le corollaire (Billen *et al.*, 2019). Il ne s'agit plus seulement d'extrapoler, mais bien d'appréhender de nouveaux agroécosystèmes, ou plus exactement socio-agroécosystèmes, qui effectivement fonctionnent à l'échelle planétaire ou continentale (Makowski *et al.*, 2014; Matlock, 2019). Il y a donc réellement innovation dans la démarche, même s'il est encore trop tôt pour en mesurer toute la portée. Outre l'ampleur inédite des espaces appréhendés, cette innovation réside dans la combinaison de différents processus, jusque-là considérés comme disjoints ou tout simplement ignorés, plus que dans la nature même des modèles mis en œuvre. L'agronomie globale s'inscrit ainsi en prolongement de la tendance continue à l'accroissement de complexité des agroécosystèmes étudiés. Elle est d'ailleurs concomitante d'un fort regain d'intérêt pour les interactions entre production végétale et élevage, désormais appréhendées à des échelles micro, voire macrorégionales (Moraine *et al.*, 2016; Leterme *et al.*, 2019; Catarino *et al.*, 2021), alors même que ces systèmes sont plutôt en voie de régression, en France tout au moins. En tout état de cause, et quel que soit le sujet abordé, la globalisation de l'agronomie met en exergue l'importance d'une coopération internationale interdisciplinaire analogue à celle qu'ont pu établir les physiciens et climatologues, pour coordonner le choix et la mise au point des modèles et bases de données nécessaires.

⏩ Conclusion

Au cours des soixante-quinze dernières années, l'agronomie a considérablement fait évoluer ses approches, méthodes et outils, non seulement en assimilant de nombreux apports externes grâce à des échanges intensifiés avec d'autres disciplines, mais aussi en concevant de façon endogène certains d'entre eux. Cette évolution des démarches reflète une dynamique globale de renforcement de la discipline, mais en a aussi été une puissante force motrice. C'est grâce à elle que l'agronomie a pu montrer une certaine efficacité dans la résolution des problèmes, étendre son champ d'action en abordant des thèmes inédits, et consolider les compétences qui sont à la base des métiers d'agronome. On peut ainsi considérer cette évolution des démarches comme une stratégie adaptative. Tantôt progressive, tantôt marquée par de brusques acquisitions-mutations, elle a permis à l'agronomie de se développer dans un contexte changeant et ainsi de faire face à des défis cruciaux, tout particulièrement celui de l'irruption des enjeux environnementaux, potentiellement très déstabilisateur.

Or il ne va pas de soi que l'évolution des approches, méthodes et outils engendre, quoi qu'il arrive et de façon unilatérale, un renforcement des disciplines auxquelles elle s'applique. À certains moments de l'histoire récente de l'agronomie, on a pu entrevoir la menace que constituait l'enfermement dans un domaine thématique (la fertilisation), où précisément les approches étaient plus évoluées et donnaient plus de sécurité aux démarches agronomiques. Un autre danger a été celui de la dilution dans une approche de type « boîte noire », fondée sur l'illusion de pouvoir se passer d'une analyse du fonctionnement des agroécosystèmes. Dans les deux cas le résultat aurait pu être similaire, celui d'une agronomie ayant perdu son autonomie et réduite à l'application

agricole des disciplines pourvoyeuses d'outils et méthodes, en l'occurrence la chimie et les statistiques dans le passé, les sciences et techniques du numérique aujourd'hui.

S'il y a eu plutôt renforcement, c'est parce que l'évolution méthodologique est allée de pair avec celle des concepts et des connaissances, et surtout a été constamment mise à l'épreuve du traitement des problèmes rencontrés sur le terrain. Même s'il a pu y avoir de brèves phases d'engouement pour telle ou telle catégorie d'outils ou méthodes, ce n'est pas le progrès des outils et méthodes qui a piloté à lui seul la montée en puissance et en généricité de l'agronomie.

Pour le futur, il n'est pas garanti que les mêmes équilibres dynamiques se reproduisent, et il y a donc toujours matière à prendre du recul sur la façon dont l'agronomie fait évoluer son bagage méthodologique. Est-ce au service et au bénéfice du contenu et des problématiques qui lui sont propres, ou ceux-ci ont-ils tendance à dériver des outils et méthodes employés ? L'agronomie doit à la fois toujours étendre et intensifier ses progrès méthodologiques, et en rester maître.

Encadré 2.3. Aperçu sur les catégories de modèles utilisés en agronomie

Seuls quelques modèles seront cités ou illustrés comme marqueurs de l'évolution de l'agronomie française dans les différentes catégories proposées. Pour des analyses plus complètes, consulter Doré *et al.* (2006), Jones *et al.* (2017a ; 2017b), Richard *et al.* (2019).

■ **Modèles pour analyser et interpréter des expérimentations factorielles ou des enquêtes**

Les premiers modèles utilisés par les agronomes sont ceux de l'analyse de la variance (Anova), popularisée par Fisher en 1925 avec des dispositifs plus ou moins sophistiqués au niveau de la parcelle assurant croisement des facteurs, contrôle de l'hétérogénéité et économie dans les modalités comparées. L'analyse de la variance sous toutes ses formes est ensuite devenue une norme. Le plus souvent, c'est la répétition des expérimentations au niveau local (exemple des essais variétaux) qui permet d'envisager une prescription. Dans ce cadre, l'analyse des interactions génotype-environnement est plus récente (Denis et Vincourt, 1982) et évolue ensuite avec la prise en compte de conduites de culture et le développement de méthodes d'interprétation. Dans les années 1970, d'autres démarches émergent sous la forme de dispositifs organisant des parcelles d'agriculteurs au niveau régional (enquête-expérimentation). Une innovation méthodologique supplémentaire a été souvent associée à ces démarches, consistant à mobiliser un ou plusieurs modèles explicatifs susceptibles de rendre compte des effets du milieu sur l'espèce cultivée retenue.

■ **Modèles pour rendre compte du fonctionnement de l'agroécosystème**

Cette approche a été initiée par les modèles à compartiments sur l'évolution de la matière organique des sols (Hénin et Dupuis, 1945 ; Hénin *et al.*, 1959). Les modèles suivants sont le plus souvent le résultat d'ajustements sur des données expérimentales, notamment de réponse du rendement à des doses croissantes d'engrais. Les premiers modèles alliant fonctionnement des peuplements végétaux et facteurs du milieu sont proposés par de Wit (1958). Puis les agronomes s'approprient les outils proposés par les bioclimatologistes sur la relation entre biomasse et déficit hydrique (Robelin, 1962) ou interception du rayonnement (Monteith,

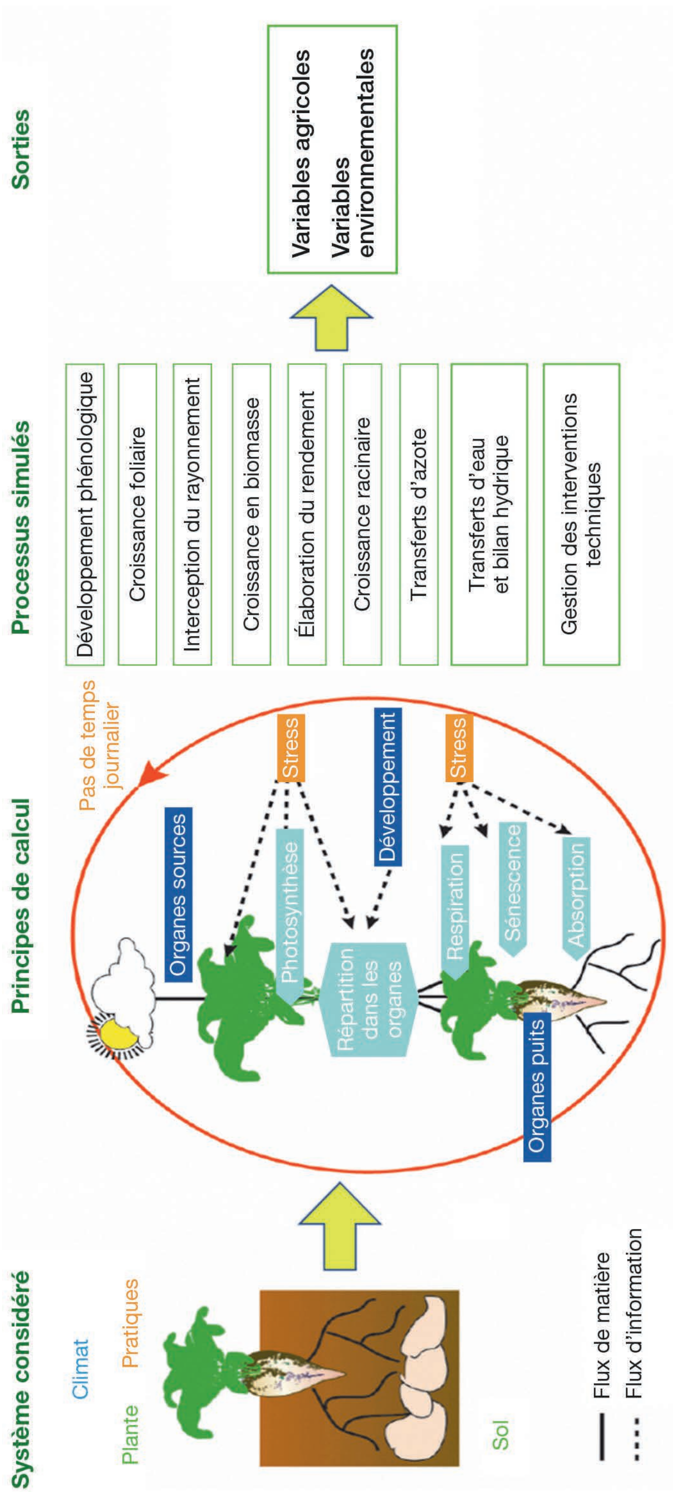


Figure 2.8a. Présentation synthétique du modèle Stics (d'après https://www6.paca.inrae.fr/stics/).

Encadré 2.3. Aperçu sur les catégories de modèles utilisés en agronomie (suite)

1972). Les années 1980 voient le développement sur le plan international de modèles écophysiologiques (Penning de Vries *et al.*, 1989), dont certains n'ont eu qu'une valeur académique, car insuffisamment validés sur des situations réelles. En parallèle se développent des approches sur les propriétés physiques des lits de semence en relation avec les processus de germination (Bruckler, 1983 ; Richard et Guérif, 1988), puis au champ pour la germination-levée (Simple, Dürr *et al.*, 2001). Au niveau des horizons travaillés, l'évolution du profil cultural est modélisée (Sisol, Roger-Estrade *et al.*, 2004). Grâce au marquage isotopique, la dynamique des éléments minéraux (P et N) est représentée par des modèles à compartiments (Fardeau, 1993 ; Recous *et al.*, 1988). Sur l'azote, des modèles de même type sont appliqués à la plante entière (Wallach *et al.*, 1990).

L'intégration de ces modules portant sur différentes composantes de l'agroécosystème a abouti à la conception de modèles de culture plus complexes qui prennent en compte l'ensemble de la croissance et du développement d'une espèce végétale. Ils permettent de tenir compte des ressources du milieu et de leur évolution. Très active sur le plan international avec la création de plateformes collaboratives, cette démarche s'est traduite en France par le modèle Stics (Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standards, figure 2.8a) comme archétype qui poursuit sa carrière jusqu'à nos jours (Brisson *et al.*, 1998 ; Beaudoin *et al.*, 2019).

Alors que le rendement a longtemps été la seule variable à expliquer, les modèles de culture évoluent dans leur structure afin d'aborder de nouvelles questions. C'est le cas notamment de la gestion durable des adventices, où des compromis sont à rechercher entre production, réduction de l'usage des herbicides et maintien de la biodiversité. Le modèle FlorSys (Colbach *et al.*, 2014b ; 2018) a ainsi été conçu dans un contexte multi-espèces en prenant en compte les effets des systèmes de culture (figure 2.8b).

■ Modèles d'aide à la décision

Un des premiers modèles à vocation décisionnelle est probablement le bilan prévisionnel de l'azote (Hébert, 1969), qui est devenu une référence incontournable pour tenter de diminuer la pollution azotée. C'est le premier modèle « inversé »[1] et directement conçu pour une décision technique (dose d'azote à appliquer). Les modèles d'aide à la décision prennent en compte de manière explicite les techniques culturales en les couplant à des modèles biophysiques. Par exemple le modèle Otelo sur l'organisation du travail en fonction des jours disponibles dépendants de la dynamique de l'eau dans le sol (Papy *et al.*, 1988), ou le modèle DéciBlé (Chatelin *et al.*, 2005) qui articule l'élaboration du rendement et la prise en compte des états du milieu en vue de la décision technique. À la suite de ces travaux, une modélisation plus complexe du système de décision de l'agriculteur et de l'exploitation agricole s'est développée (Bergez *et al.*, 2001).

Compte tenu de l'ensemble des critères à prendre en compte (environnementaux, économiques, sociaux) et de l'élargissement des dimensions spatiales et temporelles, des modèles d'évaluation multicritère ont été développés depuis une quinzaine d'années (par exemple MASC/DEXiPM, Craheix *et al.*, 2015 ; figure 2.8c) et mobilisent implicitement le fonctionnement des agroécosystèmes au travers d'un formalisme simple d'arbre hiérarchique. Les systèmes de culture et pratiques agricoles sont en entrée et les sorties couvrent de multiples impacts (économiques, environnementaux, sociaux).

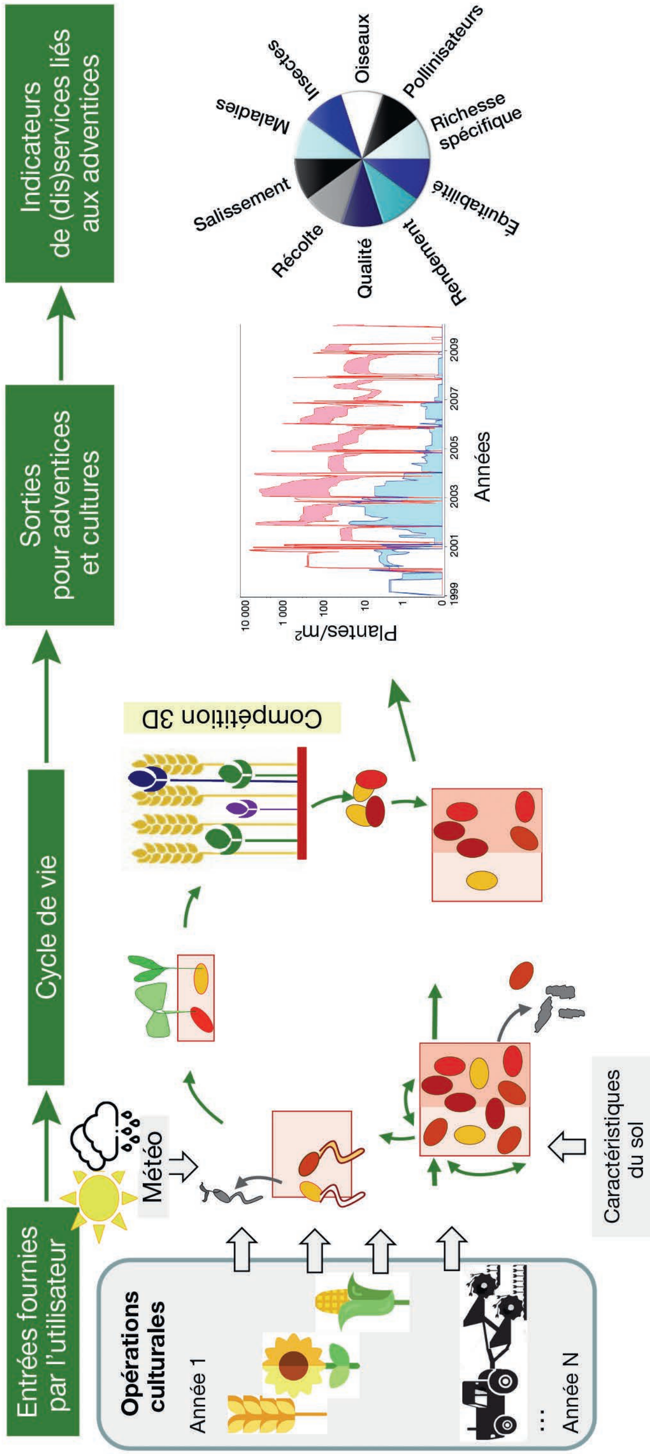


Figure 2.8b. Schéma de présentation du modèle FlorSys (d'après Colbach *et al.*, 2019).

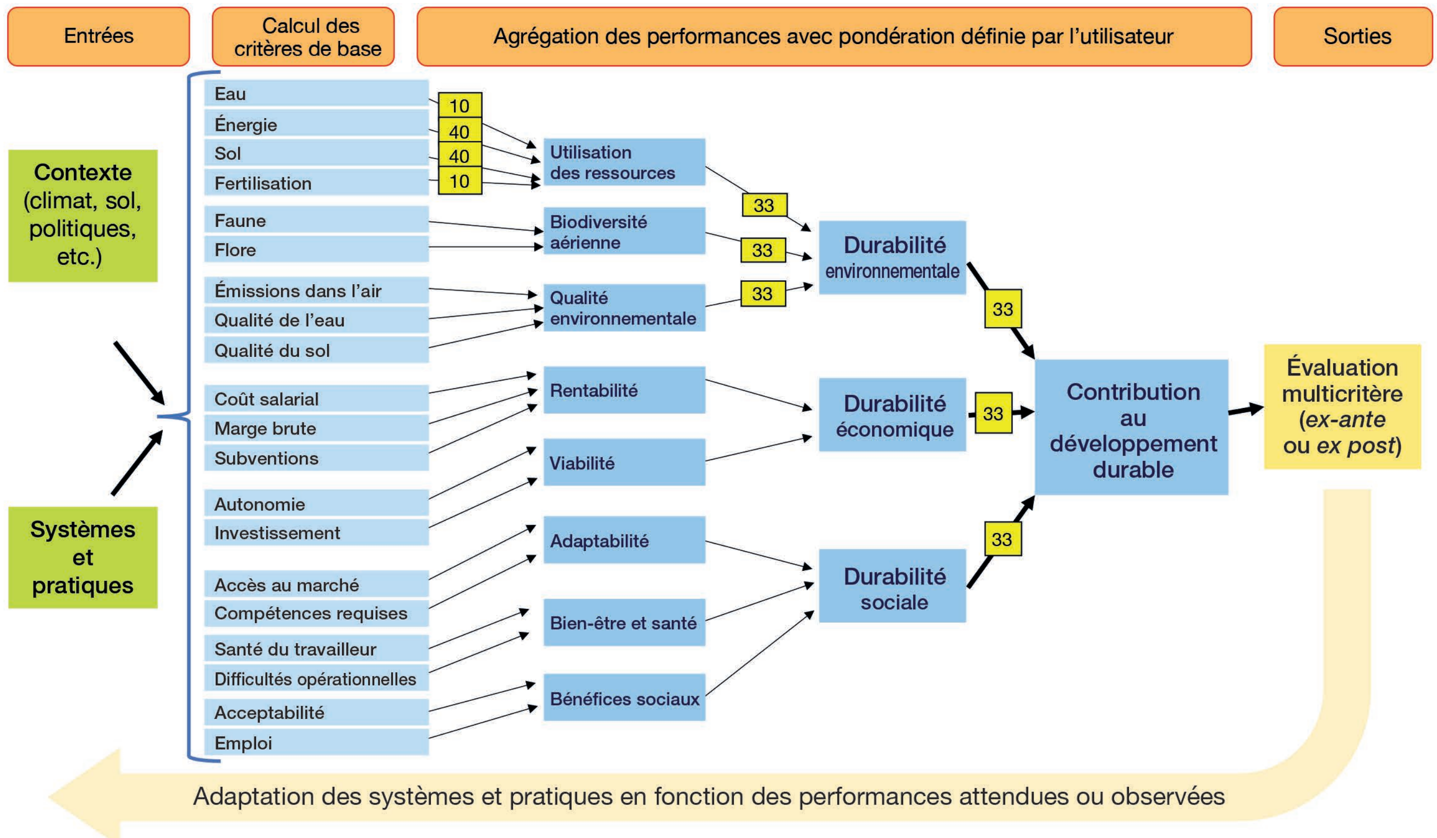


Figure 2.8c. Évaluation multicritère des performances de systèmes de culture innovants à l'aide du modèle DEXiPM (d'après Messéan *et al.*, 2010).

L'arbre permet d'évaluer la contribution d'un système de culture existant ou envisagé dans un contexte donné (climat, sol, marchés, politiques, etc.). Les données en entrée permettent d'estimer les valeurs des critères de base (deuxième colonne) par calcul à l'aide de modèles ou dires d'expert. Ces valeurs sont ensuite agrégées progressivement à l'aide de pondérations (en pourcentage) qui reflètent les relations entre critères et/ou les préférences des acteurs (valeurs par défaut modifiables par l'utilisateur, exemples donnés sur la figure). Chaque critère prend une valeur qualitative (ici très élevée, élevée, moyenne, faible, très faible). Cette évaluation accompagne la conception *ex ante* de systèmes (sélection des systèmes *a priori* les plus prometteurs dans un contexte) et permet de vérifier *a posteriori* les performances effectives. Il est aussi possible de rechercher les éléments de contexte les plus adaptés à un système de culture souhaité.

Encadré 2.3. Aperçu sur les catégories de modèles utilisés en agronomie (suite)

Ces modèles permettent de comparer, *ex ante*, les performances de systèmes innovants avec celles des systèmes actuels afin de sélectionner *a priori* les systèmes les plus prometteurs qui pourront alors être testés au champ (en station ou en ferme). Ils permettent aussi d'accompagner en temps réel les agriculteurs dans le pilotage dynamique de leur transition dans un contexte plus incertain (figure 2.8c) en réévaluant en continu leur système en fonction des performances observées et de l'évolution du contexte externe (par exemple dérèglement climatique). Ils représentent enfin explicitement les préférences des acteurs dans la priorisation des critères et peuvent ainsi aider à accompagner des médiations entre acteurs.

■ **Modèles spatialisés à l'échelle du paysage pour accompagner la gestion territoriale**

La nécessité de considérer des flux physiques et biologiques au-delà de la parcelle et le développement des SIG ont amené le développement de modèles à l'échelle du paysage, en particulier ceux traitant de flux de gènes pour étudier la faisabilité d'une coexistence entre systèmes de culture et filières, conventionnelles, biologiques et biotechnologiques (Angevin *et al.*, 2008). Les modèles qui intègrent explicitement les comportements des acteurs reposent pour la majorité sur le formalisme des systèmes multi-agents, certains étant spatialisés (Poggi *et al.*, 2021). Par exemple, la gestion territoriale de l'eau grâce au couplage de modèles de cultures et de décision au-delà de la parcelle agricole, au sein de la plateforme de modélisation et de simulation Maelia (Gaudou *et al.*, 2013).

En conclusion, au fil de la période envisagée, les types de modèles se sont succédé, mais, en général, sans se remplacer. L'agronomie a su les mobiliser et y contribuer grâce à ses avancées conceptuelles. La sophistication opérée dans chaque catégorie n'a toutefois pas toujours été synonyme d'opérationnalité. Quels que soient les modèles, les critères de sensibilité et de robustesse sont essentiels. En fonction des objectifs, ils confèrent une plus ou moins grande qualité prédictive ou d'aide à la décision.

1. Passage de « que se passe-t-il si » à « que faut-il faire pour ? ».

⏩ Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Classées par ordre chronologique, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Hénin S., 1944. Sur la méthode en agronomie. Thèse de doctorat d'université, Faculté des lettres de Paris. *In :* Hénin S., 2016, *De la méthode en agronomie*. L'Harmattan, Paris, 21-141.

Hénin S., Dupuis M., 1945. Essai de bilan de la matière organique des sols. *Annales agronomiques*, 15 (1), 161-172.

Riedel C.-E., Franc de Ferrière J., 1951. Les sols de limon des plateaux de la Brie française. *Annales agronomiques*, 6, 782-802.

Demolon A., 1952. *Principes d'agronomie. Tome 1 : Dynamique du sol, 5e édition*. Dunod, Paris, 520 p.

Demolon A., 1956. P*rincipes d'agronomie. Tome II : Croissance des végétaux cultivés, 5e édition*. Dunod, Paris, 576 p.

Gros A., 1960. *Engrais. Guide pratique de la fertilisation, 2e édition*. La Maison rustique, Paris, 406 p.

Hénin S., Sebillotte M., 1962. Si nous parlions « assolement ». *Bulletin des CETA*, 783, 1-8.

Deffontaines J.-P., 1964b. Recherches sur les potentialités agricoles dans le plateau de Millevaches. *Annales de l'Institut national agronomique*, 249-336.

Hébert J., 1969. La fumure azotée du blé. *Bulletin technique d'information*, 244, 755-766.

Hénin S., Gras R., Monnier G., 1969. *Le Profil cultural : l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques*. Masson, Paris, 332 p.

Rémy J.-C., Marin-Laflèche A., 1974. L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. *Annales agronomiques*, 25, 607-632.

Sebillotte M., 1978b. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture*, 64, 906-014.

Boiffin J., Caneill J., Meynard J.M., Sebillotte M., 1981. Élaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne crayeuse. I. Protocoles et méthode d'étude d'un problème technique régional. *Agronomie*, 1 (7), 549-558.

Manichon H., 1982a. Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique. Thèse de doctorat, INA P-G, Paris, 241 p.

Lemaire G., Salette J., 1984a. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Étude de l'effet du milieu. *Agronomie*, 4, 423-430.

Meynard J.-M., 1985. Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse INA P-G, 258 p + annexes.

Gautronneau Y., Manichon H., 1987. *Guide méthodique du profil cultural*. Ceref/Geara, 69 p. http://profilcultural.isara.fr/images/stories/guide.pdf

Papy F., Attonaty J.M., Laporte C., Soler L.G., 1988. Work organization simulation as a basis for farm managment advice. *Agricultural Systems*, 27, 295-314.

Sebillotte M., Soler L.G., 1988a. Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 74 (4), 59-70.

Capillon A., Manichon H., 1991. *Guide d'étude de l'exploitation agricole à l'usage des agronomes, 2e édition*. Relance agronomique, INAP-G/APCA, Paris, 65 p.

Capillon A., 1993. Typologie des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Thèse de docteur-ingénieur INAP-G, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, tome 1, 48 p., tome 2, 301 p.

Passioura J.B., 1996. Simulation models: Science, snake oil, education, or engineering? *Agronomy Journal*, 88, 690-694.

Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.-H., Ruget F., Gate P. *et al.*, 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I- Theory and parametrization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18, 311-346.

Bergez J.E., Debaeke P., Deumier J.-M., Lacroix B., Leenhardt D., Leroy P., Wallach D., 2001. MODERATO: an object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules. *Ecological Modelling*, 137, 43-60.

Girardin P., Guichard L., Bockstaller C., 2005. *Indicateurs et tableaux de bord : guide pratique pour l'évaluation environnementale*. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 32 p.

Cerf M., Maxime F., 2006. La coproduction du conseil : un apprentissage difficile. *In* : *Conseiller en agriculture* (Remy J., Brives H., Lemery B., coord.). Éditions Educagri, Dijon, 137-152.

Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (coords), 2006. *L'Agronomie aujourd'hui*. Éditions Quæ, Versailles, 384 p.

Sadok W., Angevin F., Bergez J.É., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messéan A., Doré T., 2009. MASC, a qualitative multiattribute decision model for exante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 447-461. http://dx.doi.org/10.1051/agro/2009006

Étienne M. (coord.), 2010. *La Modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable*. Éditions Quæ, Versailles, 384 p.

Makowski D., Nesme T., Papy F. Doré T., 2014. Global agronomy, a new field of research. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 293-307. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0179-0

Moraine M., Grimaldi J., Murgue C., Duru M., Therond O., 2016. Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level. *Agricultural Systems*, 147, 87-97. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.06.002

Jones J.W., Antle J.M., Basso B.O., Boote K.J., Conant R.T., Foster I., Godfray H.C.J., Herrero M., Howitt R.E., Janssen S., Keating B.A., Munoz-Carpena R., Porter C.H., Rosenzweig C., Wheeler T.R., 2017b. Towards a new generation of agricultural system models, data, and knowledge products: state of agricultural systems science. *Agricultural Systems*, 155, 269-288.

Richard G., Stengel P., Lemaire G., Cellier P., Valceschini E. (coord.), 2019. *Une agronomie pour le XXIe siècle*. Éditions Quæ, Versailles, 304 p.

Angevin F., Constantin J., Boiffin J., 2020. L'expérimentation numérique et l'évaluation multicritères : deux approches pour éclairer les choix en matière d'implantation des cultures. In : *Réussir l'implantation des cultures. Enjeux agroécologiques, itinéraires techniques* (Boiffin J., Laurent F., Richard G., coord.). Éditions Quæ et Arvalis, Versailles et Paris, 397-417.

Chapitre 3

De la parcelle à la planète : problèmes d'échelle et de couplage entre fonctions de l'agriculture

François Papy

Au cours de la période historique couverte par cet ouvrage, les agronomes ont été confrontés à des problèmes d'échelle (portant sur des processus naturels et des systèmes de décisions) ainsi qu'à des problèmes de couplage entre fonctions de l'agriculture (notamment entre fonctions productive et environnementale). Ces deux types de problèmes sont apparus progressivement, liés entre eux et de plus en plus complexes. Ainsi, au début de la période, quand la fonction première de l'agriculture est la production, le niveau où sont étudiés les processus d'élaboration de la production des cultures est celui de la parcelle. Les décisions portant sur ces processus se prennent à ce niveau, mais aussi à d'autres niveaux d'ordre supérieur (système de production, système d'amenée de l'eau aux parcelles, bassins d'approvisionnement en produits agricoles dans les filières, politiques commerciales, etc.). L'ensemble de ces niveaux d'organisation étant liés entre eux, on peut parler de système agraire (Deffontaines et Osty, 1977). D'un niveau à l'autre existent souvent des discordances entre les objectifs visés. Il revient alors aux agronomes d'imaginer des solutions de compromis. Mais peuvent exister aussi des complémentarités à mettre en synergie. Les problèmes d'échelle changent de nature lorsque, au tournant du siècle, apparaît la nécessité de coupler les fonctions productive et environnementale de l'agriculture. Dès lors, à l'étude des processus productifs de l'échelle parcellaire s'en ajoutent d'autres sur les flux d'eau, de terre, de gènes, d'organismes, de gaz, etc. Ils se développent tous dans une continuité spatiale au sein d'entités d'échelles supérieures à celle des parcelles (bassin-versant, bassin hydrologique, unité paysagère, région, continent, pour aller jusqu'aux limites de la planète). Il s'agit là d'échelles de processus, non d'organisations. Le problème se pose alors d'étudier comment concilier, à plusieurs échelles, une cohérence entre les objectifs des différents acteurs des territoires et la conduite des processus naturels assurant à la fois des récoltes de produits sains à l'échelle des parcelles et une bonne gestion de la continuité spatiale de nombreux flux. N'y aurait-il pas des discordances entre tous ces objectifs ?

Ce chapitre fait le récit de la façon dont les agronomes ont abordé ces problèmes. Il y est indiqué qu'ils n'ont pu y arriver qu'en collaborant avec d'autres disciplines. Certaines

de ces collaborations ont contribué à renforcer la discipline agronomique, d'autres relèvent plus d'une contribution à la formulation des problèmes à traiter ensemble. Cet aspect sera plus spécifiquement développé dans le chapitre 4. Ce chapitre 3 porte davantage sur les problèmes d'échelles et d'organisations.

⏩ Problèmes d'échelles dans la phase productive de l'agriculture

La parcelle cultivée, première entité de gestion des processus productifs

La parcelle cultivée est la plus petite portion d'espace que l'agriculteur cultive de façon homogène pour en obtenir une production végétale. Les investigations des agronomes sur la parcelle culturale ont évolué au cours du temps. Jusqu'aux années 1960, les agronomes cherchent d'abord à mettre au point les techniques les plus performantes en privilégiant la voie expérimentale (chapitres 2 et 4). Demolon avait déjà bien souligné qu'il y avait une liaison entre variété cultivée, date et densité de semis, fertilisation azotée et rendement. Aussi les techniques à appliquer sont-elles reconnues comme liées entre elles, en ce qui a été appelé « paquet technique ». Par des essais multilocaux, en station d'agronomie, ces paquets techniques sont mis au point avec comme objectif le meilleur rendement possible. Des méthodes expérimentales donnent une puissance statistique aux comparaisons entre paquets techniques en s'assurant que ces derniers sont appliqués à un même milieu (chapitre 2). Les essais les plus simples établissent des relations directes entre une technique et le rendement, les plus complexes des relations entre paquet technique et rendement. Pas de théorie explicative de ces relations. Sans doute malgré tout quelques bribes, mais sans tentative de vérification. Les paquets techniques ayant fait leur preuve en station expérimentale sont considérés comme pouvant être appliqués à la parcelle cultivée par des agriculteurs. Cette conception a longtemps prévalu tant en métropole que dans les nombreux organismes de recherche des pays colonisés, même après leur indépendance.

À partir des années 1960, avec la volonté de comprendre les pratiques, à l'Inra (laboratoire des techniques culturales) comme à l'INA (chaire d'agriculture), la parcelle de culture est devenue pour les agronomes leur objet d'étude privilégié grâce à l'adoption d'une démarche clinique (chapitres 2 et 4) sur le fonctionnement de l'ensemble « climat-sol-plantes cultivées-techniques ». Mais une question a vite surgi. Alors que la démarche expérimentale assurait une bonne correspondance entre la séquence technique testée et le milieu sur lequel elle était appliquée, qu'en était-il de cette correspondance dans une parcelle cultivée ? *A priori*, l'homogénéité de milieu n'y est pas assurée. À l'échelle de la parcelle, les agronomes prennent conscience de la discordance qui peut exister entre entité de gestion et entité écologique fonctionnelle d'analyse des processus d'élaboration du rendement. Sur l'entité de gestion (la parcelle) est appliqué ce que les agronomes ont appelé l'« itinéraire technique », qui se définit par l'homogénéité de la succession des interventions culturales et non pas des terrains (chapitres 1 et 4). Or la démarche clinique exige d'étudier l'effet d'un itinéraire technique sur une entité écologique fonctionnelle (climat-sol-végétation) homogène. Si bien que sur une parcelle hétérogène par la nature des terrains (échelle spatiale) ou du précédent cultural (échelle temporelle), il devient nécessaire d'y

distinguer des zones homogènes au sein desquelles sont choisies des stations représentatives de ce que les agronomes appellent d'abord « agrosystème » (Meynard, 1998) avant de parler d'agroécosystème[1].

À cet égard, une comparaison entre types d'agricultures est instructive. Dans les agricultures manuelles ou à traction animale, du fait de la lenteur des travaux et de la faible puissance de travail, les itinéraires techniques peuvent être adaptés à la différenciation des terrains à l'intérieur même d'une parcelle culturale (Milleville, 1972), tandis que des adaptations à une hétérogénéité des terrains allant jusqu'à modifier les dates d'intervention sont impossibles en agriculture mécanisée. Les seules possibles portent, à la marge, sur les doses d'épandages de produits chimiques. Dans les agricultures mécanisées, pour des raisons d'économie d'échelle et d'augmentation de la productivité du travail, les agriculteurs sont incités à augmenter la taille des parcelles. Le remembrement, effectué en France dans les années 1960 à 1980, réalisé dans une conception de géomètre peu soucieuse de respecter les caractéristiques du sol, a largement contribué à agrandir les parcelles jusqu'à regrouper plusieurs terrains (chapitre 8). La mécanisation d'ailleurs le permet, la puissance des tracteurs gommant la différence de résistance mécanique des sols. Une autre cause, cette fois non liée à la différence de terrain, peut expliquer l'hétérogénéité des parcelles. Le contour d'une parcelle destinée, une année donnée, à une culture peut résulter du regroupement de parcelles occupées, l'année précédente, par différentes cultures. La parcelle, définie par l'itinéraire technique pratiqué, regroupe alors plusieurs histoires culturales.

Dans une démarche clinique, ces causes d'hétérogénéité, constituant une discordance entre système technique et système écologique, doivent être repérées. De même que doivent aussi être repérés les cas où l'agriculteur a adapté son itinéraire technique à une différence soit de terrain, soit d'histoire culturale. C'est bien ce qui se passe aujourd'hui dans le cas de l'agriculture dite « de précision », rendue possible avec l'utilisation de capteurs de plus en plus précis permettant d'ajuster l'intervention technique à la mesure du milieu analysé[2].

La démarche clinique doit donc s'appliquer, après examen de l'hétérogénéité des parcelles, dans des stations représentatives de zones homogènes, dimensionnées de manière à contenir la configuration élémentaire du sol et du peuplement végétal produite par les techniques. Notons que cette hétérogénéité a souvent été utilisée par les agronomes pour comparer des couples de stations dans des dispositifs d'enquêtes (voir chapitre 2, « Valoriser la variabilité au lieu de la contraindre : l'ère de l'enquête et de l'analyse de données »). En culture monospécifique, la taille d'une station est de l'ordre de grandeur de quelques centaines de mètres carrés (10 m × une largeur définie par celle des outils). C'est donc sur des stations ainsi choisies, définies par le milieu, le précédent, l'itinéraire technique, représentatives d'un ensemble « climat-sol-plantes-technique » donné, que les agronomes établissent leurs diagnostics. Le tour de plaine, l'examen du profil cultural ou les schémas d'élaboration du rendement ont constitué les premiers outils de diagnostic (chapitres 1, 2 et 4).

---

1. Nous verrons au chapitre 4 que les agroécosystèmes se définissent à plusieurs niveaux d'échelles emboîtés. Il s'agit ici d'un agroécosystème d'échelle intraparcellaire.
2. Il ne faut cependant pas perdre de vue que, n'adaptant pas les dates de semis ou de plantation, pas plus que les variétés aux terrains et au précédent, cette agriculture, dite pourtant « de précision », est moins adaptée aux potentialités des terrains ou à « l'effet précédent » que celle qui en tiendrait compte par le découpage parcellaire.

Les diagnostics agronomiques portent également sur le maintien des capacités productives d'une parcelle, car l'état du milieu évolue entre le début et la fin de l'application d'un itinéraire technique. Ce maintien, autour d'un état moyen, est assuré par une rotation d'espèces cultivées aux caractéristiques culturales différentes. En généralisant le concept d'itinéraire technique (échelle temporelle du cycle cultural) à une succession de cultures (pas de temps long), Sebillotte reconceptualise celui de système de culture à partir du sens premier qui avait été donné à ce terme au XVIIIe siècle (chapitre 1, encadré 1.6). Le système de culture est une succession logique et ordonnée de cultures (visant à entretenir, autour d'un état moyen, les capacités productives du milieu), chacune étant conduite selon une succession logique et ordonnée d'interventions, visant un certain niveau de production. Aux diagnostics portant sur l'élaboration du rendement, les agronomes en ajoutent sur le maintien de la fertilité par les composantes du milieu qui évoluent au cours du temps. Mais, plutôt que le concept de fertilité, ils préfèrent celui d'aptitude culturale pour souligner qu'il n'y a pas de fertilité en soi, mais par rapport à un système de culture (Boiffin et Sebillotte, 1982). Cependant, les systèmes de culture évoluent également, quelquefois fortement comme nous le verrons plus loin. Il faut donc se demander à quelles conditions au cours de leur évolution à long terme les états biophysiques du sol conservent une bonne aptitude culturale. En étudiant l'entretien organique de parcelles appartenant à des exploitations agricoles ayant depuis plus ou moins longtemps abandonné l'élevage, Sebillotte *et al.* (1989) mesurent la chute de taux de matière organique pour les premières d'entre elles. Or ces parcelles ne conservent une bonne aptitude à maintenir des rendements élevés qu'au prix d'un usage exagéré d'intrants de synthèse qui vont entraîner une crise environnementale. Aussi doit-on se poser la question de savoir si l'on peut maintenir une bonne aptitude productive quoi qu'il en coûte.

Conçu pour des cultures annuelles, le concept de système de culture (succession de cultures et itinéraires techniques) peut également être appliqué à des parcelles culturales portant des espèces pérennes (comme en arboriculture et en viticulture) et des couverts complexes. Les couverts pérennes prairiaux sont généralement plurispécifiques, tandis que les couverts annuels sont très généralement monospécifiques. Cependant, dans de nombreuses agricultures traditionnelles à travers le monde, existent des agroécosystèmes à plusieurs espèces annuelles, comme la *milpa* au Mexique, où maïs, haricot et courge ont des fonctions complémentaires. Plus récemment, la recherche de synergies au sein d'un couvert végétal incite à mettre au point des associations de variétés d'une même espèce, ou encore d'espèces annuelles (notamment mélange de céréales et de légumineuses annuelles, ou culture principale en mélange avec une « plante compagne », seule la première étant récoltée), ou enfin d'espèces pérennes et d'espèces annuelles, comme en agroforesterie. Que le peuplement soit mono ou plurispécifique, en raison des interactions existant entre espèces, l'agroécosystème, identifié dans une station représentative de l'ensemble du peuplement, est cultivé comme un tout et doit donc être analysé comme tel.

À partir de leurs diagnostics à l'échelle des parcelles, les agronomes, cherchant à comprendre les pratiques des agriculteurs, ont été vite conduits à aborder un niveau d'organisation d'ordre supérieur où sont prises les décisions de conduite des parcelles et des troupeaux : l'exploitation agricole.

L'exploitation agricole, entité de gestion d'un système de production

La première conception de l'exploitation agricole par les agronomes, fondée sur la meilleure façon d'articuler une rotation de cultures (censée maintenir la fertilité) à l'assolement qui lui correspond (censé garantir l'étalement des travaux dans de bonnes conditions tout au long de l'année), est plutôt normative. Dans les années 1960, Hénin et les premiers assistants qu'il recrute à l'Institut national agronomique (INA) initient une démarche fondée sur un outil de recherche opérationnelle, pratiquée par les sciences de gestion : la programmation linéaire. C'est une méthode d'optimisation de la production sous contraintes. Elle est utilisée sur la ferme que l'INA possède à Palaiseau par Hénin et Fraigneaud (1960), ensuite par Lefort et Sebillotte (1964a ; 1964b). Ces derniers définissent plusieurs rotations répondant à des exigences de maintien de la fertilité et utilisent la programmation linéaire pour déterminer la meilleure combinaison de ces rotations qui, compte tenu des jours disponibles considérés comme variable aléatoire, minimise les risques.

Au début des années 1970, au sein de la chaire d'agriculture de l'INA est créée une unité de valeur intitulée « Étude de l'exploitation agricole ». Sebillotte y développe l'idée que pour transformer leur diagnostic en préconisation pour les agriculteurs, les agronomes doivent comprendre que les agriculteurs sont dans l'impossibilité de conduire toutes leurs parcelles à l'optimum et que, par ailleurs, ils peuvent avoir des objectifs qui leur sont propres. Cela ouvre, selon lui, la possibilité de juger si la conduite des cultures (et des troupeaux) est concordante ou discordante avec les objectifs de l'agriculteur[3]. Ces derniers ne se limitent pas à la seule démarche d'optimisation du profit, comme le suppose la programmation linéaire, mais visent aussi des logiques de gestion familiale de patrimoine, ainsi que l'ont montré des économistes comme Petit et Brossier, enseignants à l'École nationale supérieure des sciences agronomiques appliquées (Enssaa). Aussi les agronomes sont-ils conduits à analyser la diversité des objectifs des agriculteurs et des situations afin d'adapter le conseil technique aux différentes exploitations. Cette nouvelle approche des exploitations agricoles se développe aussi au Service d'expérimentation et d'information (SEI) de l'Inra, ainsi qu'à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II de Rabat (IAVH II), où l'apport de la sociologie est manifeste pour comprendre les objectifs de l'agriculteur.

Dans la spécialisation de troisième année de l'INA, Sebillotte fait faire chaque année aux étudiants une étude régionale qui occupe une place déterminante dans la pédagogie (chapitre 7). Il s'agit d'y différencier des types d'exploitation et d'analyser leurs possibilités d'évolution pour leur adapter des plans de développement (Cnasea-Geara, 1975). La catégorisation des exploitations se distingue clairement de celle faite par la statistique agricole qui sert cependant à constituer l'échantillon des exploitations où mener des enquêtes. Les objectifs recherchés par l'agriculteur, les moyens de production mis en œuvre et la trajectoire d'évolution de l'exploitation occupent une grande place dans les schémas de fonctionnement des exploitations enquêtées. Au SEI de l'Inra, les études sur les exploitations sont entreprises sous l'impulsion de Deffontaines avec des étudiants de l'Enssaa. Dès 1973, dans le canton de Rambervilliers (département des Vosges), est réalisée une étude dont il sortira plus tard une formalisation,

3. Sebillotte parle de faire un « double diagnostic » : l'un du point de vue que se donne l'agronome, l'autre en fonction des objectifs de l'agriculteur (chapitre 4).

souvent citée en référence, de l'exploitation agricole vue comme un système de relations entre système de production et famille (Osty, 1978). En écrivant « l'exploitation est un tout organisé qui ne répond pas à des critères simples et uniformes d'optimisation, et c'est à partir de la vision qu'ont les agriculteurs de leurs objectifs et de leurs situations qu'on peut comprendre leurs décisions et leurs besoins », Osty résume bien l'optique dans laquelle les agronomes étudient l'exploitation au cours de cette période.

La diversité des exploitations est mise en évidence grâce à des typologies. Les premières sont fondées sur les projets et les situations des agriculteurs par des économistes (Brossier et Petit, 1977) et sur leurs trajectoires d'évolution (Capillon et Manichon, 1979). Pour en faciliter la généralisation, plusieurs méthodes sont proposées. Certaines sont fondées sur un modèle synthétique du fonctionnement de l'exploitation agricole (Jouve, 1986) et d'autres sur une méthode à dire d'experts (Perrot, 1990). Reprenant les nombreux travaux sur le fonctionnement des exploitations réalisées dans les études régionales de la chaire d'agronomie de l'INA, Capillon, dans sa thèse (1993), en fait la synthèse. Il propose une méthode de typologie à partir d'enquêtes faites sur un échantillon d'exploitations constitué à partir du Recensement général agricole (RGA). Des types de trajectoires d'exploitations sont définis sur cet échantillon autour d'objectifs identifiés et de moyens mis en œuvre. Ils sont ensuite repérés par des caractéristiques statistiques de dimensions et de systèmes de production qui permettent, à partir du RGA, d'en estimer l'importance relative dans la région étudiée.

Dans les pays du Sud, au Centre international de recherche agronomique pour le développement (Cirad) comme à la chaire d'agriculture comparée de l'INA, et au Centre national d'études agronomiques des régions chaudes (Cnearc), les travaux sur les typologies régionales se sont développés (Jouve, 1986 ; Jamin *et al.*, 2007 ; Cochet *et al.*, 2018). Ils révèlent des situations bien différentes de celles rencontrées dans les pays industrialisés. Le centre de décision, complexe, résulte souvent d'un emboîtement d'organisations sociales (Gastellu, 1980). Les trajectoires d'exploitation se différencient par un accès inégal aux ressources naturelles (le bien foncier, la qualité des terrains, l'eau d'irrigation), aux techniques (mécanisation, intrants), au crédit… et aux débouchés. De plus, les exploitations familiales en Afrique tirent souvent leurs revenus de l'agriculture, mais aussi d'autres activités exercées en milieu rural, en ville ou encore dans d'autres pays. Et depuis le début des années 1980, qui marquent l'arrêt des interventions publiques, de nombreuses petites exploitations, à des degrés divers selon les pays, se trouvent en concurrence avec des exploitations patronales capables d'investir (Malézieux et Moustier, 2005).

En France, la démarche de typologie des exploitations s'avère également utile aux agents du développement agricole, d'autant plus que les exploitations se diversifient et s'éloignent du modèle unique d'exploitation familiale à deux unités de travailleur humain (UTH) des politiques agricoles des années 1960. Les États généraux du développement agricole, tenus dans toute la France en 1982, font prendre conscience de cette diversification. L'opération de Relance agronomique donne des outils pour la prendre en compte (chapitre 8).

À partir de l'analyse typologique, une troisième étape s'enclenche au cours des années 1980. Déjà débuté dans les Vosges (Groupe de recherche Inra et Enssaa, 1977), le croisement entre types d'exploitations et types de terrains est poursuivi dans d'autres régions. Dans le Noyonnais, Soler (1989), analysant la disparité des revenus entre

exploitations, montre qu'existe un lien entre type d'exploitation et qualité des terrains sur lesquels il est localisé. Un type a donc une certaine pertinence pour représenter le fonctionnement moyen d'un ensemble d'exploitations situées dans des conditions similaires. Cependant, Soler montre également qu'au sein de chaque type la disparité de revenus est encore très forte. Le type est donc assez loin de représenter les problèmes de chaque exploitation individuelle.

C'est pourquoi, au sein du département Systèmes agraires et développement (SAD) de l'Inra, agronomes, zootechniciens et économistes théorisent la gestion technique des exploitations. L'objectif est de produire des outils d'aide à la décision en construisant une vision structurée des relations entre pratiques, définies à l'échelon des parcelles et des troupeaux, et organisation de l'ensemble du système de production pour accompagner les agriculteurs dans la résolution de leurs problèmes techniques. Ainsi, s'appuyant sur la théorie du comportement adaptatif de Michel Petit, professeur d'économie à l'Enssaa de Dijon, les agronomes associés à des spécialistes des sciences de gestion adaptent à la très petite entreprise qu'est l'exploitation agricole des concepts et démarches venant du secteur industriel (Sebillotte et Soler, 1990 ; Aubry, 2000 ; Coléno et Duru, 2005).

Deux grandes catégories de décision sont distinguées : les décisions cycliques récurrentes dites « de campagne », pour lesquelles le concept de modèle d'action (chapitres 1 et 4), conçu à l'échelle de la parcelle, s'applique bien ; les décisions stratégiques, qui portent sur des champs décisionnels distincts (le choix des productions végétales et animales, l'achat de matériel, la signature de contrat avec une industrie d'aval, etc.) et cependant reliés entre eux. Ces décisions stratégiques de long terme sont reliées aux décisions cycliques de campagne et sont prises en fonction d'objectifs vers lesquels il faut tendre. L'organisation du travail dans les exploitations agricoles est un exemple d'articulation entre des décisions stratégiques portant sur l'équipement et la main-d'œuvre et les décisions de conduite des cultures à la parcelle. Formalisant le modèle d'action de l'organisation du travail d'un agriculteur, des agronomes simulent ces règles sous différents scénarios climatiques et testent si un niveau d'équipement et de main-d'œuvre donné permet une conduite satisfaisante des cultures (Papy *et al.*, 1988 ; Attonaty *et al.*, 1991). De tels travaux ont été utilisés sous la forme d'outils d'aide à la décision en agroéquipement (Mousset, 1996).

Qu'elles soient stratégiques ou cycliques, les décisions techniques au sein d'une exploitation agricole consistent à obtenir des produits agricoles à partir de ressources comme la terre (les parcelles et leurs terrains, leur configuration spatiale), le travail (la main-d'œuvre et les équipements), les intrants (semences, engrais, amendements, pesticides) et, dans les exploitations ayant de l'élevage, les ressources fourragères (Papy, 2001 ; Coléno et Duru, 2005). L'analyse des systèmes de décision pour mobiliser ces ressources montre qu'elles ne portent généralement pas directement sur la conduite des parcelles ou des animaux, mais sur des regroupements de parcelles (blocs de culture, sole, lot de parcelles) ou d'animaux (troupeau, lot d'animaux). La gestion de l'ensemble du système de production incite à conduire de façon concordante des parcelles séparées dans l'espace.

Les décisions d'allocation de la ressource « terre » aux différentes cultures permettent de reconstituer des blocs de culture, ensemble de parcelles portant une rotation-cadre (Maxime *et al.*, 1995 ; Aubry *et al.*, 1998). Cette dernière donne de la souplesse au

choix d'assolement pour l'adapter aux aléas de la météo et de la conjoncture économique. Elle se définit, d'une part, par une succession de cultures organisée autour d'une culture principale qui impose aux autres son délai de retour sur elle-même et, d'autre part, par des règles de succession entre les autres cultures permettant des remplacements de culture. Deux déterminants principaux entrent en jeu dans l'allocation de la terre : la nature des terrains (texture et profondeur du sol, pente, exposition et hydromorphie) et des aménagements qui y sont réalisés (drainage, irrigation), qui justifient qu'on y cultive ou non telles ou telles espèces végétales ; la distance aux bâtiments (hangar à matériel, étable, etc.), qui influe sur l'organisation du travail et la surveillance (Morlon et Benoît, 1990). Le poids respectif de ces deux éléments diffère selon les choix stratégiques faits par l'agriculteur. Dans les exploitations sans élevage, l'aptitude des terrains est primordiale, même si l'éloignement peut jouer. Dans les exploitations de polyculture-élevage, les deux éléments sont pris en compte de façon différente selon le type d'élevage. Par exemple, dans les systèmes laitiers pâturant qui existent sur le plateau lorrain, les parcelles proches de l'étable sont consacrées à de la prairie destinée aux vaches en production, tandis que pour les animaux n'exigeant pas cette proximité sont consacrées à la prairie les parcelles, où qu'elles soient, peu aptes à porter des cultures (figure 3.1). On sait qu'un des intérêts principaux du couplage culture et élevage est le recyclage d'une grande partie des éléments minéraux contenus dans l'alimentation des animaux à travers la redistribution des effluents d'élevage dans les parcelles. Aussi, pour juger de la pertinence de ces recyclages, on comprend bien l'intérêt de distinguer, au sein de ces exploitations, les blocs de cultures comportant éventuellement des prairies temporaires et les blocs de prairies permanentes pour évaluer, par des bilans, les transferts de matière qui existent entre eux.

Les décisions d'itinéraires techniques sont aussi construites sur des regroupements de parcelles. Aubry (2000) le montre sur la gestion d'une sole, ensemble des parcelles d'une même espèce cultivée, Coléno et Duru (2005) sur la conduite du pâturage qui se raisonne sur la totalité des prairies pâturées pour avoir une vue d'ensemble de la disponibilité en herbe. En grande culture, le regroupement de parcelles se fait dans les décisions d'organisation du travail et dans l'allocation des intrants. L'agriculteur regroupe les parcelles en lots redevables chacun d'une même variété, d'une même dose d'engrais ou de pesticide. Un lot représente ainsi l'unité de planification de la conduite des parcelles ; une parcelle-guide est souvent utilisée pour décider des moments d'intervention.

Dans les exploitations d'élevage, les troupeaux ont des besoins quantitatifs et qualitatifs qui évoluent au cours de l'année, mais qui sont continus et qu'il faut ajuster à la ressource offerte par le territoire fourrager qui a une production saisonnière. Pour ce faire, l'éleveur gère son troupeau en rassemblant les animaux en lots soumis à une même conduite alimentaire pour une durée donnée (Ingrand *et al.*, 1993). Nous verrons au chapitre 4 comment les agronomes des prairies, grâce à l'apport de nouveaux concepts de gestion, ont fait évoluer le modèle d'action tel qu'il était conçu jusqu'à présent sur la conduite de cultures annuelles pour concevoir le modèle de conduite du pâturage de l'éleveur.

Un exemple va permettre d'illustrer comment les agronomes repèrent les discordances entre le fonctionnement des agroécosystèmes et l'organisation des logiques d'action pour y remédier. Dans les exploitations de grande culture du Bassin parisien, l'apport

d'azote au stade « épi à 1 cm » du blé est considéré comme une bonne pratique pour optimiser le rendement. Or, dans les exploitations ayant une sole importante de betterave, les agriculteurs préfèrent sacrifier cet apport d'azote aux exigences de dates et conditions de semis de la culture de printemps. C'est pour répondre à ce problème de conflit entre niveaux de décision différents que Meynard (1985) propose un autre itinéraire technique pour le blé, n'ayant pas la même exigence de rendement que celui pratiqué jusqu'alors, mais ayant un meilleur rendement que celui obtenu avec un apport d'azote mal positionné dans le temps. Déconstruisant la logique des itinéraires techniques à usage intensif d'intrants, il conçoit ce nouvel itinéraire technique à moindre niveau d'intrants, ouvrant la voie à des recherches dont on comprendra très vite l'intérêt.

Cet exemple montre qu'il faut chercher comment coordonner au sein des exploitations agricoles (éventuellement rassemblées en type) des logiques d'action pour résoudre des problèmes de discordance entre elles. Nous allons voir maintenant qu'au-delà des exploitations agricoles existent d'autres niveaux d'organisation générateurs de logiques d'action.

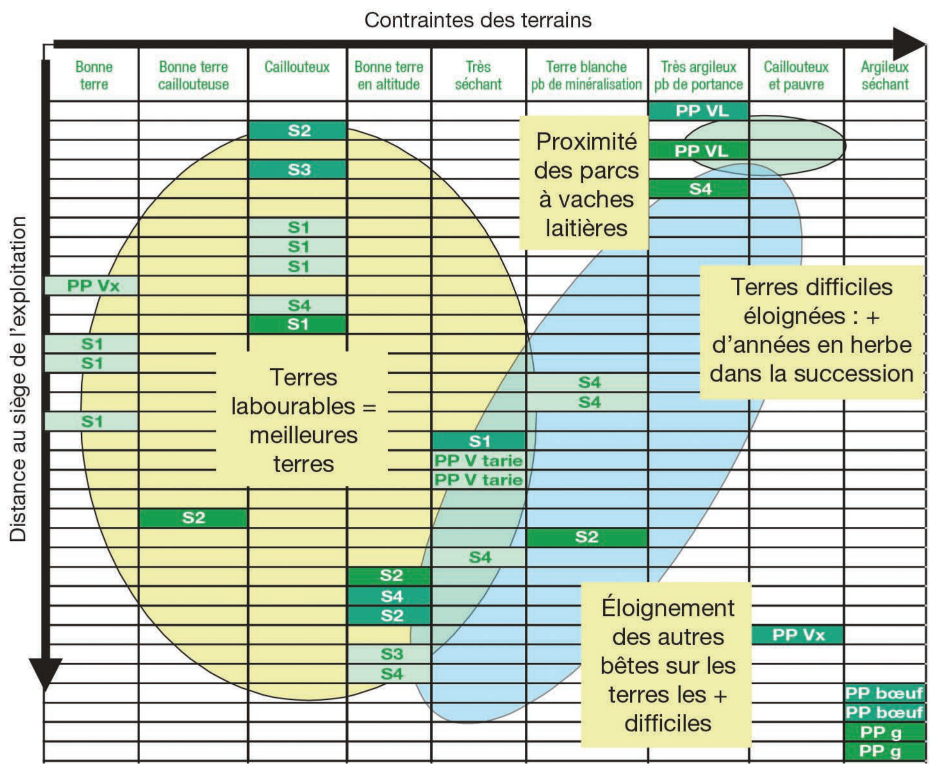


Figure 3.1. Répartition des systèmes de culture et des troupeaux au pâturage sur les parcelles d'une exploitation lorraine en fonction de la nature des terrains et de la distance aux bâtiments d'exploitation (Benoît, 2006).

S1 à 4 : succession de cultures ; PP : prairies permanentes ; VL : vaches laitières ; Vx : veaux ; g : génisses.
Les meilleures terres sont labourées et consacrées à différentes rotations de cultures annuelles. Les plus mauvaises sont essentiellement en prairies, permanentes pour la plupart, temporaires pour quelques-unes, les plus proches des bâtiments d'élevage étant destinées aux vaches laitières, les plus éloignées aux autres troupeaux.

Les organisations de la production dans l'espace cultivé

C'est à travers une démarche géographique que l'espace cultivé a tout d'abord été appréhendé comme un tout par les agronomes. Dès les années 1970, Deffontaines, analysant les paysages des Vosges, commence à y observer des unités paysagères construites par les activités agricoles (Groupe de recherche Inra-Enssaa, 1977). Les rattachant plus tard à des champs géographiques, liés à la nature des milieux ou à des distances (à des lieux habités, des villes, des axes de communication, des centres de collecte, etc.), il définit des unités agrophysionomiques (UAP) (Deffontaines et Thinon, 2001). Ce sont des entités paysagères qui résultent des activités agricoles, constituées d'un ensemble de parcelles organisées dans l'espace selon un même patron ; on y identifie la même diversité de cultures que celle qui existe dans les assolements pratiqués localement et le même parcellaire (mêmes formes et dimensionnement des parcelles, même nature des bordures de champs). Le constat que, même appartenant à des exploitations différentes, des parcelles voisines sont aménagées et cultivées de façon similaire fait penser qu'existent des surdéterminants de l'usage qui en est fait, s'appliquant identiquement dans le voisinage.

Dans certains pays tropicaux, l'organisation de l'espace cultivé est décidée à l'échelle du village. Et, comme le montre Jouve (2006), l'analyse de paysage met alors en évidence une répartition spatiale des systèmes de culture qui tient compte de la différenciation des terrains et de la distance au village. Elle est la manifestation d'une organisation agraire collective centralisée. Mais, même dans les pays où les centres de décision sont plus individualisés, les exploitations agricoles (et les systèmes de culture) ne sont pas organisées de façon quelconque dans l'espace (Lardon, 2006). Faisant l'histoire des paysages du plateau lorrain, Capitaine et Benoît (2012) montrent que les organisations spatiales héritées du passé résistent un certain temps à l'évolution des systèmes techniques agricoles, mais finissent par se modifier. Il existe, en effet, au-dessus de l'exploitation agricole un système agraire fait d'organisations collectives qui influencent les agriculteurs jusqu'à leur conduite des parcelles. Nous retiendrons pour illustrer ce propos des organismes d'aménagement de l'espace, et d'autres autour de la collecte et du traitement des produits agricoles à la sortie des parcelles.

Mais, à une autre échelle, l'analyse paysagère sensibilise aussi les agronomes à l'évolution des régions agricoles vers une spécialisation croissante. Les déterminants de cette évolution progressive sont abordés dans des travaux de macroéconomie et de géographie. Cependant, les agronomes contribuent à cette analyse en montrant comment y participent les organisations qui aménagent l'espace pour améliorer la production et celles qui l'écoulent.

Les organismes d'aménagement de l'espace cultivé

Les aménagements sont souvent réalisés à une échelle régionale. Le remembrement est un aménagement qui a sensiblement transformé le paysage agricole. Aux mains des ingénieurs de génie rural, il a été réalisé en dehors des agronomes, sans trop tenir compte de la qualité des terrains, ainsi que nous l'avons vu, essentiellement pour faciliter la mécanisation. Le drainage des terres en excès d'eau fréquent a été, au contraire, adapté aux différents types de terrains (Favrot *et al.*, 1996). Dans les différents secteurs de référence portant sur le drainage, créés dans les années 1960-1970, des données

de profondeur et d'écartement des drains ont été établies par le Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts (Cemagref)[4]. Des modèles dits « saturés » permettent de prévoir le rabattement de la nappe. Sur le terrain, les agronomes constatent qu'en rabattant la nappe, le drainage améliore la portance des sols et la durée pendant laquelle ils peuvent être travaillés. En grande culture, les jours disponibles s'en trouvent augmentés et l'organisation du travail permet d'adopter des systèmes de culture plus productifs, tandis que de nombreuses prairies naturelles sont retournées et mises en culture, éventuellement en prairies artificielles (chapitre 8).

Mais c'est surtout autour de la gestion spatiale de la ressource en eau que les agronomes se sont le plus mobilisés. C'est que l'eau est largement utilisée par l'agriculture, jusqu'à 68 % de la consommation totale moyenne en France, en concurrence avec d'autres usages, surtout dans les régions où le déficit estival est marqué (Leenhardt *et al.*, 2012). La demande agricole peut y être bien supérieure à l'offre ou au rythme de renouvellement de celle-ci. Que la ressource en eau provienne de nappes souterraines ou de rivières (directement ou par une retenue), elle s'inscrit dans des unités hydrologiques spatialement délimitées, le bassin d'irrigation, au sein duquel une organisation sociale doit veiller à la répartition entre les différentes demandes. Or il n'est pas question que, les années à fort déficit, toute l'eau disponible soit consacrée à l'irrigation. Pour les autres usagers et pour la préservation de l'environnement, des seuils réglementaires de débit des rivières (le débit objectif d'étiage) et de niveaux des nappes ont été établis. Dès que ces niveaux sont atteints, des mesures de restrictions interviennent. L'accès à l'eau, dès lors qu'elle est rare, donne donc lieu à des conflits. On est là dans une situation d'arbitrages à faire entre l'agriculture et les autres activités, et, au sein de l'agriculture, entre systèmes de culture. Il y a donc discordance entre ce qui est souhaitable à l'échelle du bassin d'irrigation et à celle des exploitations et des parcelles.

La discordance est plus ou moins forte selon que la ressource en eau est constituée par une nappe alimentée par la percolation des pluies reçues sur le territoire ou qu'elle vient d'une rivière le traversant (Lemaire, 2000). Dans le premier cas, il faut faire la meilleure estimation possible du bilan moyen (pluies – évapotranspiration réelle) sur l'ensemble du territoire pour estimer ce qui peut être prélevé pour l'irrigation sans que le renouvellement de la nappe soit affecté. Il faut pour ce faire connaître la répartition spatiale des cultures sur toutes les parcelles du territoire (irriguées et non irriguées) en fonction du réservoir hydrique des sols. En pareil cas, l'accent doit être mis sur la meilleure estimation du bilan moyen afin de définir la surface maximale irrigable plus que sur des contraintes à l'échelle parcellaire. En effet, une irrigation en excès n'est pas trop grave, car le surplus rejoint la nappe. Quand la ressource en eau traverse le territoire, ce qui en limite l'utilisation est le débit objectif d'étiage. La gestion territoriale de l'eau est alors plus contraignante sur les quantités d'eau à fournir aux parcelles. Car une fois la campagne démarrée, l'assolement étant donné, le gestionnaire de l'eau fait le point des ressources disponibles pour répartir les volumes autorisés. Il affine au cours du temps l'estimation des besoins réels pour gérer l'adéquation offre/demande en temps réel. (Leenhardt *et al.*, 2018). Soit par exemple pour irriguer du maïs avec un volume limité à distribuer, il faudra que le calendrier privilégie les périodes les plus sensibles avec, pour répartir les risques, des doses unitaires modérées (Debaeke et Amigues, 2008).

4. Le Cemagref, devenu Institut de recherche scientifique et technique sur l'environnement et l'agriculture (Irstea), est rattaché depuis 2020 à l'Inra, devenu INRAE.

Dans tous les cas, les agronomes ont à donner des références de conduite des irrigations. Par exemple lorsqu'il s'agit de choisir entre différents scénarios pour discuter des choix de configurations à faire sur le bassin (Allain *et al.*, 2018), les agronomes apportent des estimations de besoins en eau de différents assolements. S'il faut réduire ces besoins, ils proposent des modifications d'assolement en introduisant des cultures d'été à moindre besoin (exemple : sorgho ou tournesol à la place du maïs) ou des cultures d'hiver à irrigation décalée par introduction de cultures semées tôt en hiver (pois, céréales) (Debaeke et Amigues, 2008).

Les organismes de collecte et de traitement des produits agricoles

Malgré le développement actuel de circuits courts de commercialisation, les circuits longs sont largement dominants. Ils mettent en relation une demande diversifiée d'un nombre important de consommateurs avec une offre diversifiée et saisonnière de nombreux producteurs agricoles par l'intermédiaire d'un effectif réduit d'opérateurs intermédiaires. Parmi ces derniers, les premiers acheteurs des récoltes des agriculteurs ont un rôle déterminant sur le choix des assolements et des pratiques culturales des agriculteurs (Le Bail, 2012). C'est pourquoi les relations entre agriculteurs et premiers acheteurs ont été particulièrement étudiées par les agronomes. Au sein de bassins d'approvisionnement, ces entreprises collectent, stockent, trient, mélangent et transforment des produits venant d'un ensemble de parcelles appartenant à de nombreuses exploitations. L'entité du bassin d'approvisionnement est un lieu où se coordonnent des décisions portant sur la quantité et la qualité des produits traités. Des agronomes ont souvent accompagné les acteurs de bassins d'approvisionnement dans leur coordination. Le Bail et Le Gal (2011) montrent qu'à des degrés divers selon les cas étudiés, les investigations des agronomes sur les bassins d'approvisionnement ont portés sur trois points : les caractéristiques du milieu qui structurent cet espace pour identifier une répartition spatiale des quantités et qualités potentielles de la matière première agricole ; l'ensemble des objectifs et stratégies des différents acteurs en présence (agriculteurs, collecteurs, industriels) ; les différents outils de coordination entre acteurs (cahiers des charges, indicateurs de qualité, chartes, contrats, etc.).

Au sein de bassins d'approvisionnement ont souvent été valorisées des complémentarités entre caractéristiques de milieu ou encore entre types d'exploitations. Ainsi, les industriels fabricants de pâtes constituent des lots de blé dur à partir de collectes dans plusieurs régions aux qualités spécifiques pour s'assurer d'une homogénéité de production malgré les aléas climatiques (Le Bail, 2001). Le tableau 3.1 illustre bien que cette collecte peut porter sur des parcelles très dispersées dans l'espace.

Tableau 3.1. Critères de qualité et rendement du blé dur pour la production de pâtes dans trois régions françaises (Le Bail, 2001).

Région	Sud-Est	Sud-Ouest	Centre
Indice de jaune	–	+	+ +
Indice de brun	–	+	+
Moucheture	– (irrégulier)	– –	+
Ténacité	+ +	+	– –
Vitrosité	+	–	– (irrégulier)
Rendement	Irrégulier	Moyen	Fort

Dans la zone Centre, avec des variétés résistantes au gel, on obtient de bons rendements, un bon indice de jaune, mais une faible ténacité. Il existe des risques de moucheture si la fin du cycle est humide. Dans le Sud-Est, en raison de forts déficits hydriques, les rendements sont irréguliers, mais les blés sont recherchés pour leur forte ténacité. Le Sud-Ouest présente des conditions de production intermédiaires.

D'autres, comme les malteurs, ayant besoin d'une qualité stable des orges quelles que soient les conditions de culture, ont eu recours à des agronomes pour définir des cahiers des charges précis sur les itinéraires techniques à suivre. Le Bail et Meynard (2003) les ont conçus en fonction de la nature des terrains et du précédent pour atteindre deux objectifs antagonistes : un rendement suffisant et une teneur en protéines inférieure à 11,5 %. Dans un autre exemple, pris encore dans les filières meunières, il a été demandé aux agronomes un indicateur de classement précoce des parcelles de blé tendre pour séparer la collecte en deux lots en fonction du taux de protéines. À plus de 11,5 %, le lot est destiné à la panification, à moins, à la biscuiterie. Pour augmenter la production de sucre à l'échelle d'un bassin sucrier en Afrique du Sud, Le Gal *et al.* (2008) ont cherché à comprendre l'ensemble du fonctionnement du bassin. Ils ont pu ainsi proposer un dispositif de coordination entre tous les acteurs. Enfin, l'exemple étudié par Navarrete *et al.* (2006) sur la production maraîchère en Languedoc-Roussillon illustre bien la complémentarité qu'il est possible de faire jouer, au sein d'un bassin d'approvisionnement, entre exploitations aux logiques de production variées pour arriver à étaler la production, à diversifier la gamme et à réduire les traitements phytosanitaires, objectifs qu'ensemble aucune d'elles ne pourrait atteindre. C'est une bonne illustration qu'il peut exister des propriétés qui émergent au sein d'un niveau d'échelle d'ordre supérieur.

La spécialisation régionale des productions agricoles

Au cours de la période historique étudiée, l'orientation productive donnée à l'agriculture a entraîné une spécialisation régionale : d'un côté, des régions intensifiées en productions végétales ou animales (à fort usage d'intrants chimiques – engrais, pesticides, aliments concentrés, antibiotiques – et d'énergie) et, d'un autre, des régions conduites de façon extensive à faible niveau de rendement[5]. Les sciences macroéconomiques en analysent les causes profondes. Celles-ci sont dues à la recherche d'une augmentation de la productivité de la terre et du travail, à celle d'une baisse des coûts de production, à des stratégies de concentration des grands groupes agroalimentaires… et à des choix politiques qui encouragent ces tendances. En un certain sens, on pourrait dire que les instances politiques (comme la politique agricole commune, PAC) pilotent ces évolutions. Mais en étudiant les organisations d'aménagement de l'espace cultivé et les organisations de collecte des produits agricoles, les agronomes ont apporté des éléments d'explication de cette spécialisation. En artificialisant les conditions de production, les premières homogénéisent les milieux, et en structurant la collecte des produits, les secondes homogénéisent les systèmes de culture. Les unes et les autres produisent, en quelque sorte, un changement d'échelle du paysage en le simplifiant.

---

5. C'est un mode d'usage de l'espace qualifié de *land sparing*, dans lequel les régions extensives permettent une meilleure préservation de la biodiversité. Il s'oppose au *land sharing*, qui caractérise des régions d'agricultures diversifiées (Desquilbet *et al.*, 2013).

Les régions agricoles étaient certes déjà spécialisées au début du XXe siècle, puisque Hitier (1913) distingue des pays à céréales, à herbages, à cultures industrielles, etc. Mais toutes les régions françaises allient plus ou moins polyculture et élevage, puisque même dans les régions les plus céréalières le recours à la traction animale entraîne une distinction de fait entre les terrains labourables et ceux qui sont laissés en prairie pour nourrir au minimum les animaux de trait[6]. Ainsi, les parcelles où se succèdent des espèces cultivées annuelles ou temporaires bénéficient, dans des proportions variables selon les régions, d'un transfert par le troupeau de ressources organiques (contenant du carbone, de l'azote et du phosphore) venant des prairies permanentes qui, par la présence de légumineuses, fixent de l'azote de l'air. Rotation de cultures diversifiées et association culture-élevage constituent les fondamentaux de l'agronomie pour produire et maintenir les capacités productives du milieu. Mais, dès le milieu des années 1960, la différenciation entre régions s'accentue et les cycles biogéochimiques vont s'en trouver fortement modifiés.

À partir de différentes sources statistiques, Schott *et al.* (2010) nous permettent de suivre, depuis 1970, l'évolution de l'espace cultivé sur l'ensemble du bassin de la Seine, qui recouvre une superficie de 95 000 km^2. Ils constatent une forte chute des surfaces en prairies naturelles qui se concentrent à l'est (Morvan, Auxois, Ardennes) et au nord-ouest (Basse-Normandie) dans les régions les moins propices à la culture. Les céréales, tout particulièrement le blé tendre, se concentrent au centre, sur plus de la moitié du bassin, jusqu'à atteindre 45 % en Beauce et certaines parties de l'Oise et de la Seine-et-Marne. Dans ces régions les successions se simplifient. Elles sont quelque peu diversifiées entre régions, mais la succession blé-blé augmente de manière importante ainsi que la succession colza-blé-orge, tandis que celles à base de pois et de tournesol, après avoir augmenté, diminuent. Sur une zone plus localisée, la Haute-Normandie, Souchère *et al.* (2003), suivant depuis 1970 l'évolution des cultures et des prairies sous l'effet de la PAC, montrent également une diminution des prairies, mais aussi une diminution des cultures d'hiver au profit de cultures de printemps.

La course aux rendements élevés et à la marge brute incite les producteurs de céréales à avancer les dates de semis et à augmenter les densités ; par stratégie d'assurance, les apports d'azote sont calculés sur la base des rendements obtenus les meilleures années (Meynard et Girardin, 1991). Ce forçage de la fertilisation azotée renforce les risques de maladies telluriques et d'adventices dus au raccourcissement des rotations, et les risques de bioagresseurs à dissémination aérienne dus à la concentration des surfaces d'une même culture. La simplification des assolements et des successions de cultures n'aurait pas été possible sans la forte batterie de pesticides, soulignent Schott *et al.* (2010). Un cercle vicieux s'enclenche puisque, avec le temps, apparaissent des résistances des bioagresseurs aux pesticides utilisés. Les résidus de pesticides dans les sols et leurs émissions dans l'air, reconnues comme nocives pour la santé, ont en conséquence augmenté dans les régions de grande culture.

Ainsi se différencient régions céréalières et régions à forte proportion de prairies s'orientant vers des systèmes d'élevage. Ces dernières occupent non seulement la bordure du bassin de la Seine, mais aussi la moyenne montagne et ses pourtours où, la pression productive diminuant, la forêt gagne.

6. En 1892, on compte en France 2 800 000 chevaux et 1 400 000 bœufs de trait dont l'alimentation, selon les estimations d'Hervé Bichat, auraient nécessité 6 millions d'hectares de prairies, soit 17 % de la surface agricole utile de l'époque.

Mais il existe d'autres formes d'intensification que celle décrite au cœur du Bassin parisien. En Bretagne, la présence d'une forte population active agricole a permis de développer un élevage fondé sur le recours important aux aliments exogènes, riches en protéines, qui en fait une région d'excédent structurel en nutriments, particulièrement en azote et phosphore. C'est bien ce que montrent Billen *et al.*, (2019). La part du fumier dans l'apport total d'azote aux cultures (figure 3.2A) sépare les régions de grande culture (en particulier le Bassin parisien) des régions d'élevage (Bretagne et Massif central). Parmi ces dernières, la part d'aliments importés (soja, maïs, orge) dans la ration alimentaire des troupeaux (figure 3.2B) distingue bien les régions d'élevage intensif (Bretagne et Pays de la Loire) des régions d'élevage à l'herbe en moyenne montagne.

En définitive, on constate un découplage des cycles du carbone, de l'azote et du phosphore et une homogénéisation des paysages (Recous *et al.*, 2019), résultant de deux formes d'agriculture intensive ayant poussé jusqu'à l'extrême la spécialisation et l'usage d'intrants : engrais et pesticides dans les régions de grande culture, auxquels s'ajoutent aliments concentrés et antibiotiques pour les régions d'élevage hors sol.

La faible part des légumineuses cultivées dans l'ensemble des agricultures européennes explique en partie ce découplage. On en trouve l'origine tout au début de la PAC. Engagée en 1962, elle a été la principale politique commune[7]. Qu'elle le demeure fait de l'ensemble européen une entité spécifique de décisions consacrées à l'agriculture.

La recherche d'une autosuffisance alimentaire au sein d'un marché unique européen a conduit, au début, à privilégier des systèmes céréaliers en établissant des protections aux frontières. En interne, un prix minimal garanti incitait l'agriculteur à augmenter les rendements. Cependant, en contrepartie de la protection de ses céréales, l'Europe, pour éviter tout contentieux avec les États-Unis, a dû renoncer à imposer des droits de douane aux importations d'oléoprotéagineux[8]. Cette concession a ensuite été obligatoirement étendue aux autres exportateurs, notamment d'Amérique latine. Ce choix politique a contribué à différencier les modes d'intensification régionale décrits ci-dessus. Dans les régions de grande culture, sans légumineuses dans les successions, la culture des céréales a eu recours à une fertilisation azotée massive. À l'échelle de l'Europe, 11 Mt (million de tonnes) d'azote sont apportés par synthèse industrielle contre 1 Mt par symbiose, pour 105 Mt à l'échelle mondiale contre 50 Mt. Dans les régions d'élevage intensif, des importations massives de soja, plus précisément de tourteaux, riches en protéines et peu chers, se sont accrues au détriment de productions qui auraient pu être faites sur place (Magrini *et al.*, 2017).

Certes, à la suite d'un embargo sur le soja de la part des États-Unis, en 1973, des plans protéines ont alors été lancés et, à partir de 1980, la surface en légumineuses à graine a augmenté, comme nous l'avons vu dans le bassin de la Seine. Mais à partir de 1992, à cause de surplus importants, coûteux à stocker, la PAC a radicalement changé. De protectionnistes qu'ils étaient, les responsables de la politique européenne ont cherché à mettre les agriculteurs au contact direct des signaux du marché. Le soutien de prix garantis diminue progressivement, compensé, pour maintenir les revenus, par des aides qui doivent être découplées en sorte que les choix de production ne dépendent

7. En 1969, le budget de la PAC représentait près de 80 % du budget de la Communauté économique européenne.
8. Durant le Dillon Round (1961-1962) et le Kennedy Round (1963-1967).

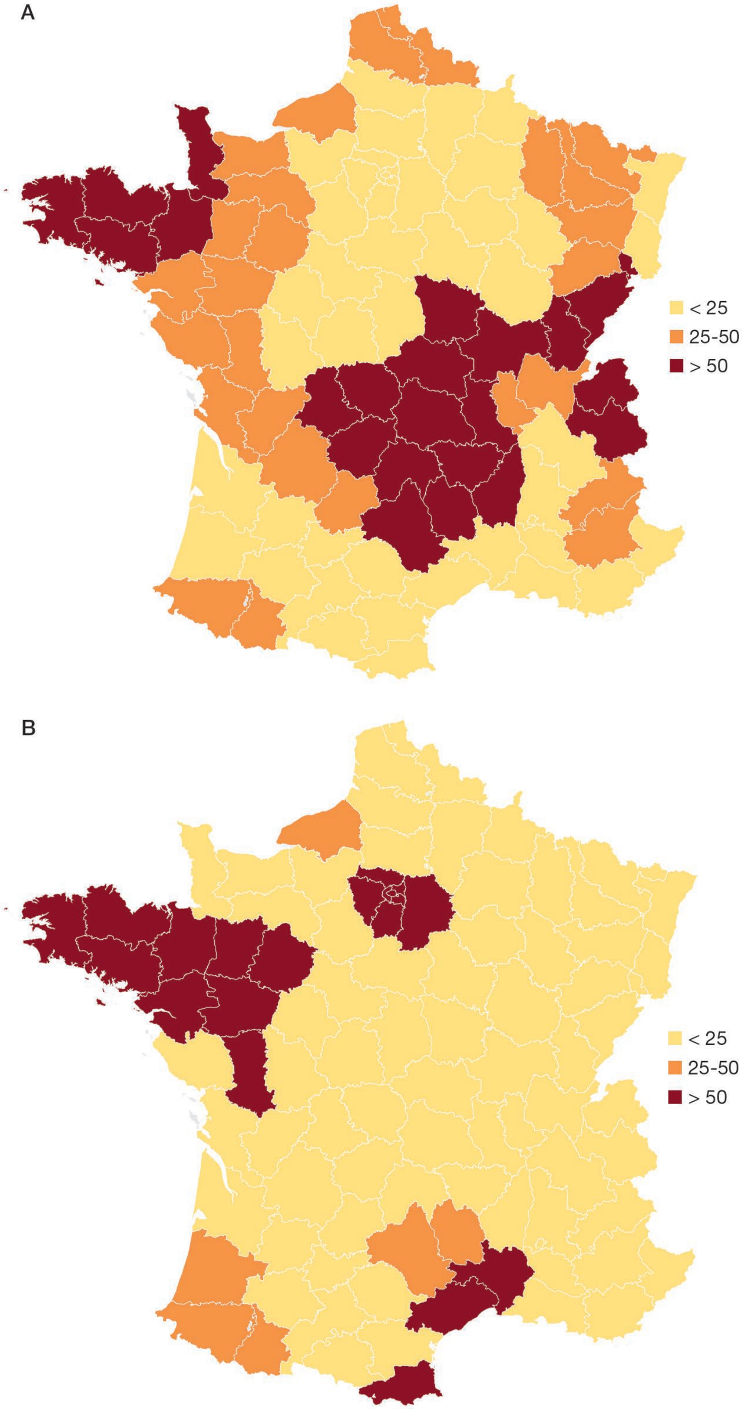


Figure 3.2. Spécialisation des régions agricoles en France métropolitaine. (A) Part du fumier dans l'apport total d'azote aux cultures. (B) Part d'aliments importés dans la ration alimentaire des troupeaux (d'après Billen *et al.*, 2019).

que du marché international. Dès lors, les aides accordées aux légumineuses, depuis 1980, vont devenir plus faibles, et elles ne suffisent plus à combler les différences de compétitivité avec d'autres espèces comme le soja importé par les fabricants d'aliments du bétail ; les surfaces qui leur sont consacrées vont à nouveau chuter (Magrini *et al.*, 2017). Le découplage prévu dans les accords internationaux ne va se faire que progressivement et ne sera quasi total qu'en 2007 (Fosse *et al.*, 2019). En attendant, diminuant chaque année, des aides sont accordées pour certaines des cultures pratiquées. Et, dès 1994, les surfaces en maïs fourrage sont éligibles aux aides à l'hectare, encourageant ainsi le système d'affouragement associant tourteau de soja à maïs ensilage qui, dans les régions d'élevage laitier, a contribué à la diminution des prairies permanentes.

Pour compléter l'analyse du poids des politiques sur les différenciations régionales, il faut rajouter que dans les régions mal loties en ressources productives (montagne et, hors montagne, régions défavorisées par la nature des sols, la pente, le climat, etc.), où domine souvent la prairie naturelle, la PAC a prévu, dès 1976, une indemnité compensatoire au handicap naturel (ICHN). L'objectif de cette politique est de maintenir un maillage d'actifs agricoles et une présence humaine dans ces territoires, pour éviter l'abandon des terres et leurs conséquences négatives sur le paysage, le recrû forestier, le risque d'incendie, etc. Sans doute derrière cette mesure existe l'idée que ces agriculteurs sont utiles à la société, mais leur rémunération est fondée non sur l'idée d'un service rendu, que l'économie ne saurait chiffrer, mais sur un manque à gagner pour corriger les différences de revenus entre les exploitations de ces régions et les autres. Les critères d'attribution de cette ICHN, à laquelle est consacrée une part importante de ce qui est appelé maintenant le « second pilier », sont actuellement en cours d'harmonisation entre les différents États.

⏩ Problèmes d'échelle et de couplage entre fonctions productive et environnementale de l'agriculture

En France, on peut dater du milieu des années 1970 les premières prises de conscience par les agronomes des enjeux environnementaux qui se sont révélés au cours de l'évolution de l'agriculture. Dès 1974, Hébert, après avoir mis au point, en 1970, une méthode d'automatisation de la mesure des nitrates par colorimétrie, émet des recommandations aux agriculteurs pour éviter la tentation de surfertiliser les plantes en azote. À la même époque, Chrétien *et al.* (1974) mettent en évidence une brusque augmentation des teneurs en nitrates de 24 captages du département de l'Yonne, qu'ils attribuent à la fois à une augmentation de la fertilisation azotée et à l'accroissement des surfaces laissées nues en hiver, à la suite de retournements de prairies. Ces constats sont suffisamment généraux, en France, pour qu'en 1979 les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement commandent à Hénin un rapport sur l'état de la situation. Faisant un bilan de l'azote au niveau de l'ensemble du territoire français métropolitain, découpé en grands bassins, Hénin (1980a) met en évidence l'existence de pertes d'ammoniac par émissions gazeuses et de nitrate par accumulation dans les aquifères. C'est le début d'une prise en compte des impacts environnementaux des agricultures intensives. Les agronomes vont vite être incités à changer d'échelle d'investigation pour tenir compte de processus qui se développent dans leur continuité spatiale. C'est ce que nous allons présenter maintenant en analysant des processus liés aux mouvements de l'eau, de particules terreuses, d'organismes vivants et de gaz dans l'atmosphère.

Nouveaux problèmes d'échelle : les impacts environnementaux des agricultures intensives

Pour aborder ces nouveaux problèmes, des collaborations ont été nécessaires avec des disciplines de l'environnement (hydrologie, pédologie, géologie, géomorphologie, écologie, climatologie, etc.), au sein desquelles les agronomes ont cherché à remonter des impacts aux causes liées aux pratiques culturales et aux aménagements réalisés dans l'espace cultivé. Ces collaborations se poursuivent encore tant sont multiples et complexes les interactions en jeu dans les processus naturels (chapitre 4).

Les aquifères et bassins-versants, lieux de circulation des flux hydriques

La qualité de l'eau

Par nature, les processus liés à la circulation de l'eau sont contenus dans le périmètre géographique de bassins d'alimentation d'aquifères souterrains (captés par des sources) ou de bassins-versants de rivières alimentant les nappes alluviales peu profondes (captées par des puits) (Benoît et Papy, 1997). C'est au sein de ces deux types d'entités géomorphologiques qu'après avoir analysé les processus liés aux flux hydriques, il est possible d'étudier la contribution des parcelles à la fourniture de polluants de l'eau dans les sources et les puits, mais aussi dans les milieux aquatiques continentaux ou littoraux. Certains de ces polluants sont solubles (les nitrates en particulier, mais aussi la plupart des pesticides) ; d'autres, fixés au sol (le phosphore en particulier), ne circulent qu'à l'issue d'un processus érosif.

Les bassins d'alimentation d'aquifères donnent lieu à des circulations à dominante verticale. Les phénomènes d'entraînement sont relativement aisés à modéliser en agrégeant, sur l'ensemble de l'aire délimitée, les modèles de lixiviation des molécules dans les différents couverts végétaux et en les pondérant par la surface occupée par chacun d'eux (Gaury et Benoît, 1993 ; Mary *et al.*, 1997). Dans le bassin des eaux minérales de Vittel, la contribution en nitrates de chaque type de couvert, mesurée par un dispositif de bougies poreuses au-dessous de la profondeur d'enracinement des couverts, fait état d'une forte variabilité, avec des valeurs moyennes de 2 mg/l sous forêt, de 46 mg/l sous blé et de 126 mg/l sous maïs fourrage. Selon la nature des couches géologiques traversées, la circulation est plus ou moins rapide. Elle est rapide dans les impluviums des sources de Vittel, en raison de couches géologiques largement fissurées ; et la réponse aux changements de pratiques y est rapide (Deffontaines et Brossier, 1997). Elle est, au contraire, très lente en Champagne crayeuse, où Vachier et Dever, en 1990, estimaient que les changements de pratiques de fertilisation azotée ne se feraient sentir dans l'aquifère qu'au bout de quarante ans.

Dans les bassins-versants, comme ceux des Côtes-d'Armor (Gascuel *et al.*, 2015), où la topographie n'est plus plane, on a dans la zone saturée un écoulement de subsurface qui entraîne les éléments lixiviés vers les cours d'eau. Ces écoulements sont stratifiés au sein de la nappe avec des zones ici de concentration et là de dilution, et donc difficiles à modéliser et à mettre en relation avec les contributions de chaque parcelle (Ruiz *et al.*, 2015).

C'est aussi à l'échelle des bassins-versants que sont analysés les transferts de phosphore vers les milieux aquatiques continentaux ou côtiers, qui causent des surcharges en nutriments et entraînent des phénomènes d'eutrophisation se traduisant par la prolifération de macroalgues. À l'origine des transferts, la mise en mouvement du phosphore est due à des processus d'érosion et de ruissellement. C'est le cas également de la chlordécone, pesticide peu soluble utilisé dans les bassins de production bananiers aux Antilles dans les années 1980, qui génère aujourd'hui une pollution chronique persistante des terres, de l'eau et des milieux côtiers.

L'érosion des sols

Un ruissellement de surface apparaît sur des versants soit parce que la zone saturée affleure, soit par un phénomène d'imperméabilisation des horizons superficiels. Ce dernier phénomène se manifeste même sous de faibles intensités pluviométriques dans les sols limoneux, mais demande des intensités plus fortes dans des sols plus argileux. Selon la morphologie, la nature du sol, l'organisation du parcellaire, les pratiques agricoles et le régime climatique, il est possible de distinguer plusieurs systèmes érosifs. Dans le système d'érosion diffuse, le détachement des particules dans les parcelles agricoles est dû à l'impact des gouttes de pluie sur les agrégats de sol, tandis que le ruissellement est capable de transporter les particules arrachées sans initier d'incision (Le Bissonnais et Martin, 2004). Le processus se complexifie lorsque la pente de la parcelle est suffisamment forte pour donner au ruissellement la force d'inciser le sol selon les lignes de moindre résistance du haut vers le bas du versant en rigoles parallèles. On a alors un système érosif de versant en rigoles et interrigoles qui associe deux mécanismes : le détachement (par érosion diffuse et érosion linéaire) et le transport (par ruissellement dans les rigoles et interrigoles). Longtemps ces deux systèmes érosifs ont été les seuls étudiés par les agronomes parce qu'il était relativement facile, par expérimentation, d'établir des relations entre pratiques, états de surface et quantité de terre déplacée. Aussi ces systèmes érosifs peuvent-ils être régulés à l'échelle parcellaire par des pratiques culturales ou des aménagements pour couper la longueur de pente.

Signe de la difficulté des agronomes à sortir de la parcelle, ce n'est qu'au cours des années 1980, tant aux États-Unis (Spomer et Hjelmfelt, 1986) qu'en France (Boiffin *et al.*, 1988), qu'est étudié un système érosif qui ne s'inscrit pas dans un découpage parcellaire, mais dans la morphologie du petit bassin-versant, en régime non permanent, qui inclut le plus souvent plusieurs parcelles. C'est le système érosif par concentration du ruissellement, dans lequel on distingue plusieurs zones fonctionnelles : l'impluvium, des chemins d'eau, le talweg incisé et une zone d'atterrissage ; des zones tampons peuvent ralentir le flux érosif. L'étude de ce type de processus n'a été rendue possible que par un progrès méthodologique consistant à faire de la modélisation paysagère (chapitre 2). Cette dernière permet d'inscrire des processus spatio-temporels sur des patrons paysagers et de tester l'effet d'autres patrons sur les processus (Poggi *et al.*, 2018). Ainsi, les agronomes ont modélisé l'évolution au cours de l'année des états de surface du sol des parcelles pour prévoir les périodes de sensibilité au ruissellement (Boiffin *et al.*, 1988). Cependant, pour modéliser le processus érosif à l'échelle du bassin-versant élémentaire, il faut tenir compte des contours des parcelles et du sens des travaux du sol qui déterminent les chemins d'eau (Souchère, 1995 ; figure 3.3). Le potentiel de ruissellement dépend des rapports entre zones fonctionnelles, que l'on peut évaluer au moyen de la télédétection et de systèmes d'information géographique (Blanchard *et al.*, 1999).

Dans le cas du pays de Caux, qui est une région agricole homogène par sa géomorphologie et les systèmes de culture qui y sont pratiqués, une modélisation des conditions du déclenchement du ruissellement érosif a permis de prévoir l'occurrence des crues turbides hivernales qui se produisent au-delà d'un seuil pluviométrique (Papy et Douyer, 1991). Mais pour les crues turbides de printemps et d'été, survenant à la suite d'orages violents, l'intensité pluviométrique dépasse les capacités d'infiltration quels que soient les états de surface, exception faite souvent des couverts permanents. L'organisation morphologique devient alors la variable déterminante (Douvinet et Delahaye, 2010). Certaines situations morphologiques donnent les plus forts risques de crues turbides sous l'action d'orages. On sait ainsi sur quels bassins-versants élémentaires il est le plus utile de faire porter les efforts de réduction du ruissellement érosif. Dans ce système érosif, où il faut traiter de façon différenciée les différentes zones fonctionnelles au sein d'un bassin-versant élémentaire et les différents bassins-versants, la mise en œuvre de mesures anti-érosives cohérentes est délicate en raison de la discordance fréquente entre les limites naturelles et celles des parcelles et des exploitations agricoles.

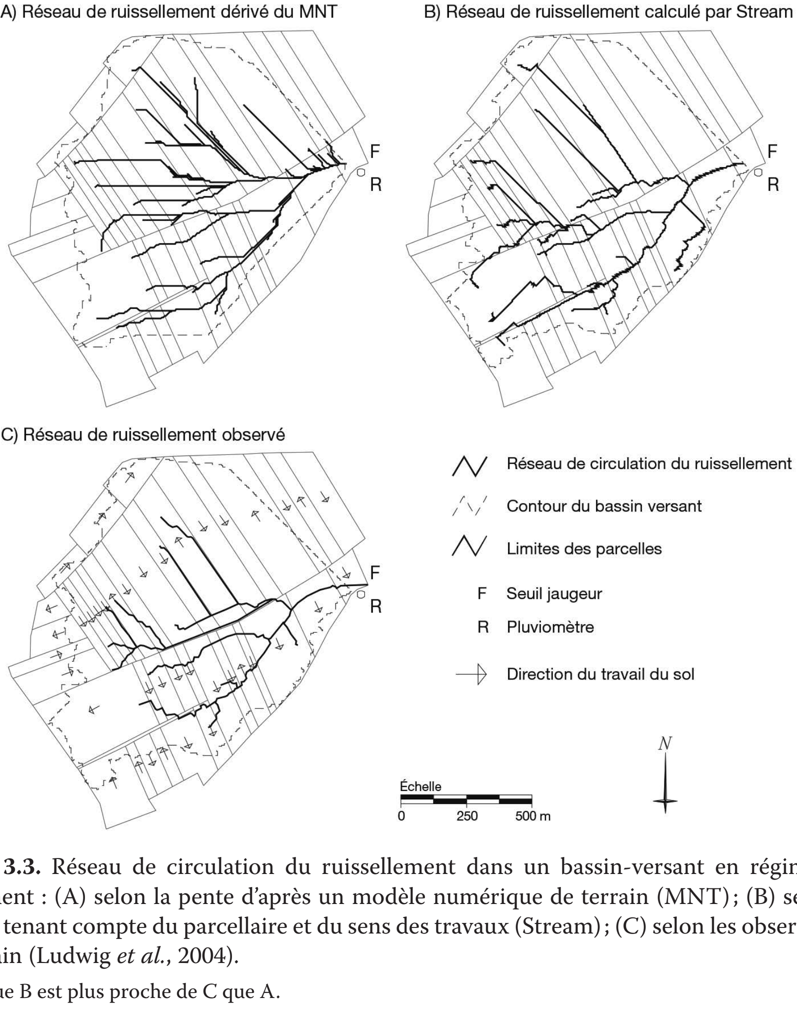


Figure 3.3. Réseau de circulation du ruissellement dans un bassin-versant en régime non permanent : (A) selon la pente d'après un modèle numérique de terrain (MNT) ; (B) selon un modèle tenant compte du parcellaire et du sens des travaux (Stream) ; (C) selon les observations de terrain (Ludwig *et al.*, 2004).

Noter que B est plus proche de C que A.

Les unités paysagères, lieu des continuités écologiques

La perception par les agronomes des impacts de l'agriculture sur la biodiversité est venue tard, après la Convention mondiale pour la biodiversité de Rio en 1992. Elle a nécessité une collaboration poussée entre écologues et agronomes pour aborder les processus complexes d'interrelation des populations entre elles et avec leur milieu de vie (chapitre 4). En remontant de l'évolution de la biodiversité aux pratiques agricoles, deux caractéristiques majeures de ces dernières apparaissent déterminantes. Tout d'abord, l'usage des intrants et plus particulièrement des pesticides qui, outre leur effet sur les bioagresseurs des espèces cultivées, affectent d'autres populations directement ou indirectement en perturbant la chaîne alimentaire. Mais aussi le paysage, car, en se modifiant, il modifie, pour un grand nombre d'espèces, les diverses ressources qui leur sont nécessaires pour se nourrir, se protéger et se reproduire (Burel *et al.*, 2019).

L'analyse des effets du paysage a été progressive. Le paysage a tout d'abord été étudié par les écologues, dans les années 1980 et 1990, qui se sont centrés sur les éléments semi-naturels, sous-entendant que c'est là que se concentrait la biodiversité, tandis que la matrice agricole (les parcelles de culture) lui était hostile. Ainsi, il ne pouvait y avoir de continuités écologiques que grâce à des corridors entre îlots de biodiversité, fragmentés par la modernisation agricole. C'est ce qui a été appelé la « trame verte »[9]. Ce n'est que depuis le début des années 2000 que, prenant en compte l'ensemble du paysage agricole, tel que décrit par les unités agrophysionomiques, l'hétérogénéité de la mosaïque agricole est également apparue comme un facteur clé de la biodiversité (Aviron *et al.*, 2019). On peut distinguer au sein de ces unités paysagères, comme le font Burel *et al.* (2019), l'hétérogénéité de composition (existant entre les parcelles de la matrice, due à la nature des cultures) de l'hétérogénéité de configuration – due à la forme et à la taille des parcelles, à la structure des éléments semi-naturels qui les délimitent (haies, fossés, talus, etc.) ou qu'elles enserrent (bosquet). Comme ces deux dimensions de l'hétérogénéité du paysage sont partiellement liées entre elles au sein des unités paysagères, on ne peut en étudier toutes les combinaisons. C'est donc en comparant des unités paysagères se différenciant par des combinaisons de critères d'hétérogénéité que les écologues et les agronomes étudient les effets sur les populations des continuités écologiques (Burel *et al.*, 1998). Et c'est également sur des unités paysagères fictives, mais représentatives de paysages réels, que sont élaborés des modèles de fonctionnement d'agroécosystèmes spécifiques d'un problème de maintien de la biodiversité.

Au-delà des hétérogénéités de composition et de configuration, toutes deux identifiables par des caractéristiques visuelles, il faut rajouter une hétérogénéité importante, celle due aux itinéraires techniques appliqués aux différentes parcelles et notamment à l'usage de pesticides. Comme le font remarquer Aviron *et al.* (2019), il est bien souvent nécessaire d'en tenir compte pour comprendre comment la mosaïque peut favoriser ou non le développement et le déplacement d'auxiliaires (Vasseur *et al.*, 2013). De ce point de vue, pour analyser les perturbations d'habitats en lien avec l'usage de pesticides et de fertilisants, il peut être utile de comparer des paysages où les surfaces occupées par de l'agriculture conventionnelle et de l'agriculture biologique sont très différentes (Aviron *et al.*, 2019).

9. Son pendant dans les milieux aqueux est la trame bleue.

Ainsi, de nombreuses études, réalisées à plusieurs échelles, expliquent pourquoi l'utilisation intensive d'intrants et la simplification des paysages caractérisant l'agriculture ont des effets néfastes sur la biodiversité. Elles incitent à inscrire les agroécosystèmes de l'échelle parcellaire, d'où sont récoltés les produits agricoles, dans des agroécosystèmes plus complexes, se définissant à l'échelle d'unités paysagères, où il est possible de piloter des espèces en interaction entre elles et leur milieu (Doré, 2011 ; chapitre 4).

Des parcelles à la planète, lieux de la continuité des échanges gazeux entre les espaces cultivés et l'atmosphère

Comparés aux flux d'eau, les flux aériens sont plus complexes : les émissions de gaz par l'espace cultivé, le plus souvent diffuses, de faibles intensités par unité de surface et variables dans le temps, sont difficiles à mesurer, et les mouvements d'air, souvent turbulents, difficiles à modéliser. Il convient de bien distinguer deux catégories de phénomènes, non pas tant sur les processus d'émission de gaz que sur les dimensions spatiales et temporelles de leurs impacts. Certains gaz – l'ammoniac (NH_3), les produits phytopharmaceutiques (PPP), les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COV), les particules fines – ont des effets dont la durée peut varier de quelques heures (pic de pollution) à quelques années sur des distances variant de quelques centaines de mètres à plusieurs centaines de kilomètres. D'autres, se répandant dans toute l'atmosphère jusqu'à atteindre la stratosphère, participent, avec les émissions provenant d'autres activités humaines, à l'augmentation de l'effet de serre qui se traduit par le dérèglement général du climat. Il s'agit du gaz carbonique (CO_2) résultant de l'utilisation d'énergie fossile et de la minéralisation de la matière organique, mais surtout de deux autres gaz, spécifiques des émissions agricoles : le protoxyde d'azote (N_2O), ayant comme cause première la fertilisation azotée, et le méthane (CH_4), provenant principalement de la fermentation entérique des ruminants, mais aussi de la riziculture inondée. Ces deux derniers, ayant des durées de vie différentes et n'ayant pas le même pouvoir réchauffant que le CO_2, sont convertis en équivalent CO_2[10]. Les impacts de ces gaz à effet de serre (GES) se manifestent sur plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, et ont une portée à l'échelle de la planète. Distinguons donc ces deux catégories d'émissions.

La qualité de l'air ambiant

Comme l'indiquent Génermont *et al.* (2019), alors qu'avant 1990 les émissions d'ammoniac étaient étudiées pour les pertes en azote lors des épandages de lisier (signe d'une préoccupation de perte de rendement), elles sont, depuis, devenues une question emblématique des pollutions agricoles, en particulier par l'élevage. Ces émissions, dangereuses pour la santé, proviennent à 95 % des bâtiments d'élevage et de l'application sur les parcelles d'engrais minéraux et organiques (lisiers, fumiers, composts). Les travaux sur le NH_3 ont permis de modéliser l'ensemble du processus allant des émissions au transport, à la dispersion et aux transformations jusqu'aux dépôts. Ils ont servi pour d'autres gaz étudiés depuis, comme les NO_x, mais aussi pour

10. N_2O et CH_4 ont tous deux ont un fort potentiel de réchauffement global en équivalent CO_2 (noté eq CO_2) ; calculé sur 100 ans, il est respectivement de 310 et 21 eq CO_2 selon les calculs du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 1995. Mais le premier a une durée de vie de 150 ans et le second de 12 ans.

les PPP, en suspension dans l'air. Plus tard, après 2015, ont été étudiés les COV provenant des cultures et des élevages, notamment en bâtiments, et la production chimique d'aérosols à partir de composés gazeux d'origine agricole comme les NO_x, le NH_3 et les COV. Toutes ces émissions gazeuses sont dangereuses pour la santé. L'exposition à de très fortes concentrations d'ammoniac provoque des irritations, voire des brûlures oculaires et respiratoires. À court terme, les NO_x entraînent des irritations et aggravent l'asthme, à long terme, ils causent des maladies respiratoires ou cardiovasculaires.

Les teneurs de l'air en ces différents gaz restent difficiles à prévoir dans un lieu donné. De plus, les impacts de ces polluants qui circulent dans l'air ne dépendent pas que des teneurs, mais aussi du degré d'exposition des humains et des écosystèmes. De gros progrès restent donc à faire sur la contribution de l'agriculture aux émissions de polluants atmosphériques et sur la manière de les réduire.

Le dérèglement climatique

Les gaz émis par l'agriculture qui créent un effet de serre additionnel contribuent au dérèglement climatique. Mais ces émissions sont partiellement compensées par la photosynthèse qui fixe le carbone dans la biomasse et le sol (Pellerin *et al.*, 2019b). L'effet de serre additionnel dû à l'agriculture, résultant d'un bilan entre émission et fixation du carbone, doit être considéré dans l'ensemble de ce que le GIEC appelle le « secteur des terres »[11], au sein duquel les différents modes d'occupation ont des capacités fixatrices très différentes. La forêt stocke 80 % du carbone de la biosphère terrestre, avec une nette différence entre forêt tropicale humide et forêt tempérée, qui contiennent respectivement 220 et 80 t C/ha de biomasse, mais aussi 160 et 100 t C/ha dans le premier mètre de sol ; tandis que les champs cultivés en stockent beaucoup moins (6 t C/ha dans la biomasse d'une parcelle de céréale en Île-de-France et 60 t C/ha dans le sol) et que les couverts herbacés ont une position intermédiaire. En France, la forêt piège l'équivalent de 15 % des émissions de CO_2.

Le rapport du GIEC, paru en août 2019, estime que le secteur des terres est un puits net de 29 % des émissions totales de GES, ce qui montre le rôle qu'il peut jouer dans l'atténuation du dérèglement climatique. Mais ce secteur émet 23 % du total net des émissions, dont 11 % sont imputables à l'agriculture, principalement à l'élevage des ruminants et à la fertilisation azotée de synthèse, 10 % au changement d'usage des terres, principalement à cause de la déforestation qui se traduit par des émissions de CO_2, et 2 % à d'autres causes.

La problématique de l'atténuation du dérèglement climatique a contribué à étendre à l'échelle planétaire l'étude des cycles biogéochimiques et à mettre en évidence les limites qui s'imposent à ce niveau.

À l'échelle planétaire, la prise en compte des limites

Perçues dès 1972 dans le rapport Meadows, les limites planétaires ont donné lieu depuis à de nombreux indicateurs se traduisant par une série de seuils physiques à ne pas dépasser (Rockström *et al.*, 2009). Ici, retenons-en principalement deux qui relèvent de l'activité agricole :

11. Dans son rapport spécial sur les interactions entre climat et terres émergées, paru en août 2019, le GIEC estime que sur ces dernières, 12 % sont cultivées, 37 % sont pâturées (dont 16 % de savanes et zones arbustives et 2 % de prairies intensives) et 31 % sont des forêts (dont 9 % de forêts primaires et 2 % de plantations).

– ne pas augmenter la surface cultivable au détriment des forêts, qui constituent le plus grand puits de carbone du secteur des terres. En totalisant la biomasse (vivante et morte) et le carbone du sol, les écosystèmes forestiers contiennent 860 Gt de carbone, soit l'équivalent de ce qui est contenu dans l'atmosphère. La déforestation (et, dans une beaucoup moindre mesure, le retournement de prairies) libère brutalement du gaz carbonique (CO_2) dans l'atmosphère, tandis que la fixation de carbone par un nouveau boisement (ou une mise en herbe) est très lente ;
– gérer les cycles géochimiques du phosphore et de l'azote, qui conduisent à une dilution du premier dans les océans et à une aggravation très forte du dérèglement climatique pour le second. L'usage des engrais azotés de synthèse, fabriqués par fixation de l'azote atmosphérique, a tellement augmenté depuis 1950, et de façon tout à fait déséquilibrée entre les pays développés du Nord et ceux de l'hémisphère sud que, dès les années 1970, cette fixation a dépassé les capacités de l'ensemble des écosystèmes à dénitrifier suffisamment pour réémettre dans l'atmosphère la même quantité d'azote (N_2) que celle fixée (Galloway et Cowling, 2002).

On retiendra que les différents processus passés en revue ont pour origine les deux tendances, liées entre elles, qui caractérisent les agricultures intensives accompagnant la spécialisation régionale : l'usage massif d'intrants dans les régions de grande culture et d'élevage hors sol (engrais, pesticides, aliments d'origine exogène antibiotiques), et l'homogénéisation des paysages agricoles (peu d'espèces cultivées et de grandes parcelles). La pollution de l'eau, la diminution de la biodiversité, la pollution de l'air, l'effet de serre additionnel, relèvent surtout de la première ; l'érosion des sols (surtout dans le cas du système par concentration du ruissellement) et, à nouveau, la diminution de la biodiversité, de la seconde. Cette analyse laisse entendre que les correctifs à concevoir devront consister à réduire les intrants et diversifier les cultures, mais aussi à articuler entre elles les gestions de processus se déroulant à des échelles différentes : la parcelle pour la production, mais aussi les différentes entités fonctionnelles pour la préservation de l'environnement. Les fondamentaux d'une agronomie, longtemps centrée sur la fonction productive de la parcelle, s'en sont trouvés renouvelés.

Coupler les fonctions productive et environnementale à de nouvelles échelles de l'agroécosystème

Dès 1992, à Rio, la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement déclare, dans son Agenda 21, « le caractère multifonctionnel de l'agriculture » afin de promouvoir un développement agricole et rural durable, c'est-à-dire assurant l'alimentation des hommes tout en préservant les ressources naturelles. Mais il a fallu une décennie (de 1992 à 2002) pour que cette « multifonctionnalité », proclamée en haut lieu, finisse par être reconnue comme un objectif à rechercher par les acteurs du monde agricole. La représentation professionnelle agricole dominante, se sentant prisonnière d'injonctions contradictoires, tarde à admettre la légitimité de la fonction environnementale de l'agriculture au détriment de sa fonction productive.

Vers une nouvelle conception de l'agroécosystème

Les agronomes, quant à eux, n'ont pas attendu les conférences internationales pour commencer à s'attaquer, certes de façon progressive, à cette question de la

multifonctionnalité. Ils commencent en cherchant à diminuer les causes premières des impacts environnementaux et à corriger leurs effets. Deux exemples vont l'illustrer, l'un à l'échelle de la parcelle, l'autre à celui d'un bassin-versant élémentaire.

• Dès le début des années 1990, Meynard et Girardin (1991) expliquent comment, en déconstruisant les stratégies d'assurance qui ont conduit à un suremploi d'intrants, il est possible de concevoir de nouveaux itinéraires techniques moins polluants. Sur le blé, en visant un objectif de rendement plus faible, on diminue le besoin en azote. Les risques de verse et de maladies s'en trouvent réduits. En semant plus tardivement, on réduit les attaques de pucerons, ce qui dispense d'utiliser des insecticides. En utilisant des variétés résistantes aux maladies, on réduit les fongicides. Sans doute les bonnes années le rendement est-il plus faible qu'en culture intensive. Mais, bon an mal an, il est plus régulier, avec, au total, des marges brutes plus fortes. Enfin, pour éviter les fuites d'azote après la récolte, il est préconisé d'implanter, quand c'est possible, des cultures intermédiaires pièges à nitrates (Cipan). Ces nouveaux itinéraires techniques ont plusieurs effets positifs. Ils réduisent les risques de pollution des aquifères et des nappes alluviales, atténuent la perte de biodiversité par la diminution des pesticides, ainsi que le ruissellement érosif par les cultures intermédiaires ; ils améliorent la qualité de l'air et l'effet de serre additionnel en réduisant les émissions de N_2O.

• Un autre exemple illustre comment, remodelant le paysage, il est possible de réduire l'érosion et les coulées boueuses. Ainsi, dans le pays de Caux, qui a vu disparaître les mares dans les talwegs, les prairies sur les sommets, près des habitations et dans les bas-fonds, et dont la taille des parcelles n'a cessé de croître, se développe de l'érosion par ruissellement concentré. Dans les années 1980, une association de lutte contre l'érosion et l'aménagement du sol promeut auprès des agriculteurs des techniques de réduction du ruissellement à la parcelle, mais aussi un réaménagement du paysage (« remembrement hydraulique » et techniques d'aménagement des talwegs par des fascines, retenues d'eau, bandes enherbées, etc.), qui contribuent à réduire les risques.

Ces deux exemples illustrent qu'il est possible de concevoir des solutions permettant d'associer objectifs de production et de préservation de l'environnement par des modifications d'itinéraire technique ou d'aménagement de l'espace cultivé.

Cependant, par un approfondissement de leur relation avec l'écologie fonctionnelle, les agronomes vont aller plus loin dans la mise en concordance des fonctions productive et environnementale que la simple conception d'itinéraires techniques et d'aménagement des terrains pour atténuer les impacts négatifs des pratiques intensives. Ils étendent aux systèmes anthropiques les méthodes et outils de l'écologie ayant fait leurs preuves sur les systèmes naturels. Ils s'inspirent pour cela de l'agroécologie, théorisée aux États-Unis (Altieri, 1985), tout en conservant la dimension de mise en œuvre des techniques par des logiques d'action, qui fait la spécificité de l'agronomie (Aubertot *et al.*, 2016 ; chapitres 1 et 4). Ayant fait, jusqu'à présent, peu de cas des processus biologiques, traités comme des « boîtes noires » paramétrées par des indicateurs physico-chimiques, ils avaient ignoré les capacités d'autoadaptation évolutive des êtres vivants au milieu et les capacités fonctionnelles de la biodiversité, y compris pour produire (chapitre 4). Au moment où apparaît le concept de services des écosystèmes, dont le Millennium Ecosystem Assessment, en 2005, a tenté d'estimer les valeurs

économiques selon des modes de calcul au demeurant discutables[12], ils s'en servent pour développer une autre conception de l'agroécosystème (Doré *et al.*, 2011a). L'idée est d'utiliser certains de ces services afin d'en rendre d'autres, et ce en donnant une place importante à la biodiversité (Malézieux, 2012; 2016; Reboud et Malézieux, 2015). La question devient alors : comment mobiliser des services écologiques (disponibilité en eau, fourniture en nutriments à travers les propriétés biotiques et abiotiques du sol, microclimat, auxiliaires contre les bioagresseurs des cultures et pollinisateurs, etc.), et les utiliser pour en tirer à la fois des services marchands de production agricole (aliments, fibres, etc.) et des services non marchands environnementaux (eau épurée, conservation du sol et de la biodiversité, préservation des incendies et qualité des paysages, régulation des échanges gazeux avec l'atmosphère et, particulièrement, atténuation de l'effet de serre additionnel) ?

Dans la conception d'une agriculture agroécologique qui intègre et mobilise les fonctions de la biodiversité, le rôle des agronomes est de relier ces fonctions à deux systèmes techniques : les systèmes de culture et de conduite des surfaces en herbe (qui relèvent de l'échelle de la parcelle), et les aménagements de l'espace cultivé (qui relèvent de l'organisation du parcellaire – taille, orientation –, du maintien d'éléments semi-naturels dans le paysage agricole, arborés éventuellement, de fossés, de bandes enherbées, etc.). Dès lors, les agronomes articulent ces deux catégories de systèmes techniques pour tirer de la diversité biologique des services à la fois productifs et environnementaux.

Certes, certains des services liés au maintien de la fertilité du sol, comme la faune et les microorganismes du sol, mais aussi les espèces cultivées introduites pour fixer l'azote comme les légumineuses, sont peu mobiles. On verra dans le chapitre 4, qui développe les collaborations entre agronomes, malherbologues et phytopathologistes, que les adventices et certaines maladies dues à des champignons telluriques, qui ne se dispersent que sur de faibles distances, le sont également. Les uns et les autres sont donc peu sensibles à la structure du paysage. Mais le rendement des cultures dépend aussi de populations mobiles comme les pollinisateurs, qui bénéficient aux espèces maraîchères et arboricoles, mais aussi à des espèces de grande culture comme le tournesol et le colza. Il dépend également de la lutte contre les bioagresseurs qui peuvent se disperser à distance et être régulés par des auxiliaires. Toutes ces populations en cause sont liées à l'organisation spatiale du paysage. La figure 3.4 illustre que les services intrants de fourniture de ressources sont peu sensibles à la complexité du paysage, tandis que les services de régulation biotique le sont beaucoup.

Agroécosystèmes et enjeux environnementaux

Il résulte de ce qui précède que, pour assurer le couplage entre fonctions productive et environnementale de l'agriculture, il faut passer de la parcelle au paysage (Doré, 2011; Maraux *et al.*, 2013). Le concept d'agroécosystème que les agronomes restreignaient à la parcelle s'applique aussi à des unités paysagères qui incluent une diversité de cultures dans des parcelles qui ne soient pas trop grandes, séparées de linéaires semi-naturels (chapitre 1, figure 1.3), chacun des éléments participant au couplage des fonctions productive et environnementale. Alors que les unités agrophysionomiques

12. Elles sont fondées sur le coût des techniques qui pourraient les remplacer et ne peuvent donc s'appliquer aux services sans substitution possible.

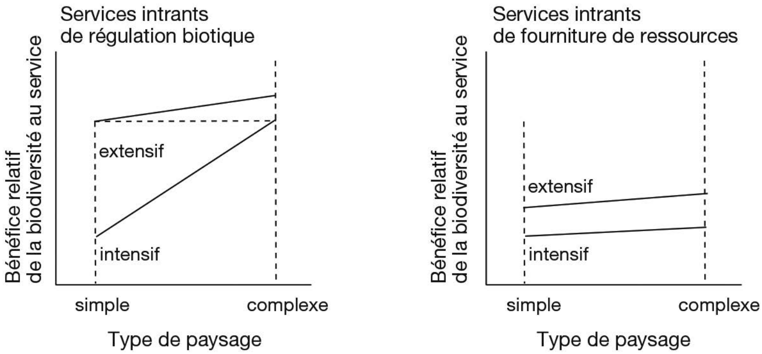


Figure 3.4. Liens entre usage intensif ou extensif d'intrants chimiques et complexité des paysages pour des services de régulation biotique tels que le contrôle des ravageurs (à gauche), ou des services de fourniture de ressources tels que le maintien de la fertilité des sols (à droite) (Collectif, 2009).

Cette figure illustre que les services rendus, par exemple par des auxiliaires (à gauche), sont sensibles au paysage, tandis que ceux rendus par l'introduction de cultures de légumineuses (à droite) ne le sont pas.

conçues par Deffontaines résultaient des pratiques productives de l'agriculture, ces unités spatiales deviennent des entités à gérer pour faire fonctionner des agroécosystèmes. Elles constituent des projets dans lesquels s'inscrivent de nouveaux systèmes de culture et aménagements paysagers.

Les combinaisons entre systèmes de culture et aménagements à concevoir sont forcément très variées en fonction de la hiérarchie faite, en un lieu donné, par les agriculteurs et les autres acteurs, entre les objectifs de production et les biens environnementaux à préserver prioritairement. C'est ainsi qu'ils doivent être conçus en fonction de leur localisation au sein des aquifères et bassins-versants pour étudier leur possibilité de réguler les flux d'eau et de terre.

Les évolutions suivantes de systèmes de culture sont désormais étudiées : citons entre autres l'allongement des successions de cultures d'espèces aux traits fonctionnels complémentaires, avec introduction de légumineuses pour réduire l'usage d'engrais azotés de synthèse, l'introduction d'espèces adaptées au changement climatique, des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants, des associations d'espèces allant jusqu'à l'agroforesterie, l'introduction d'espèces ayant des fonctions de service (protection du sol, piégeage de l'azote, répulsion des bioagresseurs, attraction des auxiliaires, pollinisation, domination des adventices indésirables, etc.) ou l'établissement de couverts continus pour fixer plus de carbone. Le couplage entre agriculture et élevage (éventuellement par des coordinations entre exploitations; Moraine, 2015) redevient d'actualité pour mieux valoriser, dans les régions de grande culture, la fixation symbiotique des légumineuses prairiales et, dans les régions d'élevage hors sol, pour offrir des surfaces d'épandage des surplus d'azote et des pailles pour absorber les lisiers.

Les principes d'aménagement de l'espace sont également reconsidérés : le dimensionnement des parcelles qui, en grande culture, sont souvent trop grandes pour assurer une continuité écologique d'habitats pour des auxiliaires au cours des cycles culturaux; l'orientation des parcelles par rapport à la pente pour réguler les flux érosifs;

la structuration des milieux semi-naturels en bordure de champ, éventuellement arborés ; la création de fossés pour réguler les flux hydriques et l'installation de bandes enherbées pour intercepter des pollutions, entretenir la biodiversité, etc.

Pour prendre un exemple de continuum entre échelles, les principes agroécologiques s'appliquant aux systèmes de culture et aux aménagements paysagers permettent de traiter les problèmes environnementaux aux échelles locales, mais aussi la question du dérèglement climatique à l'échelle planétaire. Il est possible en effet en les mettant en œuvre d'atténuer le dérèglement climatique et de s'adapter à ses effets (Tittonel, 2015 ; Debaeke *et al.*, 2017).

• Dans les régions de grande culture des pays du Nord, l'atténuation peut être obtenue par la réduction de la fertilisation azotée de synthèse, et par l'introduction de légumineuses à graines dans la rotation et de légumineuses fourragères dans les prairies (Pellerin *et al.*, 2015). Tandis que dans les régions d'élevage intensif à base de compléments azotés, elle nécessite de renoncer aux importations de soja. Dans les pays du Sud, c'est la déforestation qui doit être évitée. En effet, comme les agricultures traditionnelles, de beaucoup les plus nombreuses, produisent peu, des bilans territoriaux d'énergie et GES concluent à la nécessité d'augmenter les rendements plutôt que de cultiver des terres conquises sur la forêt (Riedacker, 2008). Aussi ne faut-il pas craindre d'utiliser des fertilisants de synthèse dans les cas où leur efficacité marginale est indéniable et où les bilans minéraux sont déficitaires, comme c'est souvent le cas en Afrique tropicale (Maraux *et al.*, 2013).

• Au Nord comme au Sud, c'est en cultivant la biodiversité que les agricultures pourront s'adapter aux aléas climatiques de plus en plus forts. Mais, tandis que les agricultures du Nord devront renforcer la diversification des agroécosystèmes, celles du Sud devront conserver la leur (Malézieux et Moustier, 2005). L'adaptation au dérèglement climatique suppose dans tous les cas le développement rapide de cultivars qui soient non seulement résistants à la sécheresse et à la chaleur, mais qui résistent à de nombreux bioagresseurs et recouvrent vite le sol pour économiser l'eau et réduire la population d'adventices (Debaeke *et al.*, 2017).

La mise en œuvre d'agroécosystèmes par les agriculteurs demande de leur part un changement important dans leur mode de pensée et de gestion des systèmes techniques. Les deux chapitres suivants montreront comment les agronomes peuvent les y aider. Pour en rester aux problèmes d'échelle permettant d'assurer le couplage entre fonctions productive et environnementale, demandons-nous maintenant comment différents niveaux d'organisations peuvent accompagner la transition agroécologique. Celles conçues pour aider l'agriculture dans sa fonction productive vont-elles pouvoir l'accompagner dans ses fonctions environnementales ? De nouvelles organisations apparaissent-elles ? Ce sont là des questions auxquelles les agronomes ont dû s'atteler.

Coupler la qualité sanitaire des produits et l'environnement dans la mise en œuvre des agroécosystèmes

Un élément nouveau va modifier la donne : l'idée qu'à la crise environnementale est fortement liée une crise sanitaire. D'une part, parce que la qualité de l'air et de l'eau affecte directement la santé humaine (on parle alors de santé environnementale) et que, plus indirectement comme on vient récemment d'en prendre conscience, le

développement des zoonoses a fortement augmenté depuis la moitié du siècle dernier. D'autre part, parce que des pathologies graves comme le diabète et l'obésité, qui sont des maladies métaboliques, directement liées aux régimes alimentaires, se développent dans la plupart des pays. Ainsi les liaisons qui peuvent être faites entre les états des écosystèmes aux échelles locale et planétaire et la santé humaine ont conduit au concept d'« une seule santé » (*One Health* en anglais) (Duru et Thérond, 2019 ; Duru et Le Bras, 2020). Crise environnementale et crise sanitaire se trouvent intimement liées. C'est pourquoi la recherche de systèmes de culture et d'aménagements de l'espace créant des agroécosystèmes qui produisent tout en préservant l'environnement doit être associée à la recherche de régimes alimentaires assurant une bonne santé humaine. Aussi doit-on se demander pourquoi ce lien n'avait pas été fait jusqu'à présent.

Après-guerre, pour sécuriser l'approvisionnement, la politique agricole était essentiellement centrée sur le volume de l'offre. Une fois l'approvisionnement assuré, l'offre a été orientée vers l'exportation. Et, en 1992, Malassis dénonçait une absence de politique alimentaire à l'échelle européenne (Bonnefoy et Brand, 2014). Une gestion de l'offre, laissant de côté la demande de qualité, a conduit à des politiques incomplètes. Alors que la fonction environnementale de l'agriculture est désormais devenue un enjeu incontournable pour la société, n'est-il pas temps de voir comment y joindre la qualité alimentaire comme un enjeu essentiel ? Et n'est-il pas possible de concevoir un système agroalimentaire soutenable en ce sens qu'il préserverait à la fois les ressources naturelles et la santé humaine ? Cette question a pris de l'ampleur au cours des dernières décennies.

L'apport des agronomes à la conception de systèmes agroalimentaires soutenables

Le développement du concept de système alimentaire modifie la manière de concevoir les systèmes agricoles. Des recherches pluridisciplinaires, avec des diététiciens, sont ainsi en cours pour étudier les possibilités de coupler préservation des ressources et qualité sanitaire des produits agricoles. Du point de vue qualitatif, ces études montrent que le régime alimentaire de type occidental n'est bon ni pour la santé ni pour la planète (Duru et Le Bras, 2020). Il se caractérise par une insuffisance de fibres (nécessaires au bon fonctionnement du microbiote intestinal), due à la réduction de consommation de légumineuses depuis le milieu du XXe siècle au profit des protéines animales, et à l'insuffisance d'oméga 3, dû au changement d'alimentation des ruminants, l'herbe ayant été remplacée par l'association maïs-soja. Le taux de protéines animales/protéines végétales doit donc être diminué et la préférence doit être donnée aux ruminants nourris à l'herbe. Le développement des légumineuses à graines, dont on sait l'intérêt environnemental, permettrait de corriger ce taux et, en même temps, d'accroître la sécurité alimentaire en Asie et en Afrique subsaharienne (Meynard *et al.*, 2017).

Du point de vue quantitatif, on sait que les systèmes agroécologiques ont des rendements inférieurs aux systèmes conventionnels intensifs. Aussi différents scénarios ont-ils été testés pour savoir si la mise en œuvre de principes agroécologiques permettrait de nourrir les populations prévues en 2050. Que ce soit à l'échelle mondiale (Paillard *et al.*, 2010 ; Mora *et al.*, 2020), de l'Europe (Poux et Aubert, 2018) ou de la France (Solagro, 2014), il apparaît que ça n'est possible qu'à la condition d'associer à une forte réduction du gaspillage un rééquilibrage des régimes alimentaires entre carnés

et végétariens et une sécurisation des échanges internationaux des produits agricoles. On voit ainsi les possibilités de mettre en synergie les fonctions environnementale et d'alimentation saine de l'agriculture.

Cependant, établis de façon globale, ces scénarios n'abordent pas la question que nous avons soulevée plus haut, à savoir la spécialisation très poussée des régions due à une économie agroalimentaire mondialisée visant essentiellement la production. On trouve très clairement présenté cet aspect spatial de la question dans Billen *et al.* (2019). Ces auteurs montrent d'abord que, tant aux échelles nationales qu'internationales, la déconnexion entre production et consommation tient principalement à deux causes : la spécialisation régionale de l'agriculture et l'urbanisation. Les deux éloignent le producteur spécialisé du consommateur qui, lui, recherche une certaine diversité alimentaire qui n'est assurée qu'en allant la chercher au loin. Du coup, l'expression d'une demande alimentaire variée venant des villes devrait pouvoir aller de pair avec une diversification locale des productions agricoles. Mais comment et jusqu'où est-il possible de concevoir des systèmes agroalimentaires localisés assurant un certain niveau d'autosuffisance ? Billen *et al.* (2019) font remarquer que la disparité d'autosuffisance alimentaire n'a cessé d'augmenter depuis 1950, tant entre régions en Europe qu'entre macrorégions dans le monde. Dans la diversité des contextes entre pays aux potentialités agricoles et à la démographie très différentes, se posent alors des questions d'arbitrage entre la recherche d'un certain niveau d'autonomie alimentaire locale et une politique alimentaire mondialisée. Pour améliorer l'autonomie locale, ces auteurs montrent qu'il serait possible d'obtenir à l'échelle mondiale la même production agricole en réduisant très fortement la fertilisation azotée (jusqu'à 40 %), à condition de rééquilibrer les apports de fertilisation azotée de synthèse, à l'échelle mondiale entre macrorégions comme au sein de chaque pays. Cela réduirait les pollutions azotées locales et permettrait d'atténuer le dérèglement climatique. À ce réajustement des ressources fertilisantes devrait s'ajouter un recyclage à l'échelle locale des éléments fertilisants par un couplage entre système de culture et d'élevage. Enfin, en reconsidérant la composition des régimes alimentaires, Billen *et al.* (2019) estiment qu'un régime constitué d'un taux de 35 à 40 % de protéines animales, reconnu comme diététique (contre 62 % en 2010 en France), pourrait, en 2050, à la fois être fourni à toute l'humanité et être produit de façon relativement bien localisée dans les différentes régions du monde.

On voit donc qu'il est possible de trouver dans des agroécosystèmes bien conçus la possibilité de mettre en synergie des objectifs environnementaux et la fourniture pour tous de régimes alimentaires sains. Mais la recherche de solutions innovantes pour assurer cette jonction entre fonctions environnementale et alimentaire de l'agriculture ne peut se faire indépendamment d'une question d'échelle. C'est là que se situe le cœur du problème que doivent aborder maintenant les agronomes. C'est à l'échelle locale qu'il est le plus pertinent de rechercher de bonnes connexions entre production et consommation, fondées, pour être durables, sur un choix de cultures diversifiées et de modes de conduite agroécologique de ces dernières, sur une gestion fine des flux de nutriments et la préservation de la biodiversité. C'est dans ce sens que sont entreprises des recherches pour réassocier localement à des systèmes de culture des systèmes à base de prairies là où elles ont disparu. Ces dernières permettent de coupler les cycles du carbone et de l'azote au sein de la végétation, de la matière organique et de la biomasse microbienne du sol (Lemaire *et al.*, 2014), et d'entretenir un niveau élevé

de biodiversité. Dans une démarche de conception innovante participative (Moraine, 2015 ; chapitres 4 et 5), des recherches ont été entreprises pour étudier les différents types d’organisations sociales susceptibles de coupler culture et élevage. Leterme *et al.* (2019) font la synthèse d’un programme européen qui a porté sur l’étude de 24 cas où a été recherchée l’intégration entre systèmes spécialisés en culture et élevage. Plusieurs types de modes d’intégration ont été distingués en fonction des synergies existant entre trois pôles : les cultures, les animaux et les prairies. Certains d’entre eux visant l’autonomie produisent l’alimentation des animaux dans le système intégrateur et recyclent les effluents. Ils suivent les principes d’une économie circulaire.

Il est clair cependant que ces recherches d’accompagnement d’acteurs locaux ne peuvent pas résoudre tous les problèmes et qu’il faut aborder des échelles supérieures. C’est pourquoi nous allons examiner les possibilités pour les organisations de mettre en œuvre, à différentes échelles, des systèmes agroalimentaires soutenables.

Aux échelles locales, la gestion des filières et des collectivités territoriales

De façon plus ou moins directe, les acteurs des filières et des collectivités territoriales sont susceptibles de traduire la « demande sociale » de systèmes agroalimentaires durables. Mais ils ne sont pas *a priori* organisés dans cette finalité. Et il est essentiel pour les agronomes d’analyser les mécanismes de blocage pour imaginer comment les surmonter. Par exemple, analysant, en région de grande culture, la possibilité de diversifier un bassin de production par diverses cultures candidates, Meynard et Messéan (2014) montrent que les acteurs des filières déjà existantes ont développé des stratégies autour de quelques grandes espèces qui verrouillent la possibilité d’en introduire de nouvelles. Le manque de références techniques sur les nouvelles cultures, l’absence d’amélioration génétique, mais aussi la difficulté à dimensionner les équipements au bon ajustement des volumes de production à la demande expliquent ce « verrouillage sociotechnique » (Magrini *et al.*, 2019). C’est de cette façon que l’on peut justifier la suprématie des cultures de céréales sur celles des légumineuses après que ces dernières ont été découragées en Europe par des accords commerciaux dès les années 1960 (Magrini *et al.*, 2017). Mais des obstacles existent aussi dans la mise en œuvre de politiques agroalimentaires qu’essaient de développer des collectivités territoriales. Perrin et Soulard (2014) notent qu’en France les villes n’ont pas, en ce domaine, le même poids politique que leurs homologues anglo-saxonnes ou américaines. Elles n’ont pas de compétences spécifiques pour agir sur l’alimentation, qui relève plutôt de la compétence nationale. Certes, à travers les schémas de cohérence territoriale (SCoT) et les plans locaux d’urbanisme (PLU), les collectivités territoriales ont des compétences sur le zonage des milieux pour arbitrer l’affectation de l’espace et donc la place que peut y prendre l’agriculture. Cependant, comme le font remarquer Boiffin *et al.* (2014), l’agriculture n’y est considérée jusqu’à présent qu’en tant qu’occupant de l’espace et non comme activité productrice d’alimentation. Cependant, les collectivités territoriales ont une responsabilité dans la restauration collective de certains établissements publics (établissements d’enseignement, hôpitaux) qui peuvent être une occasion d’exprimer une demande alimentaire de proximité et de qualité. Mais, par une réglementation européenne d’inspiration libérale, la localité ne peut figurer dans les cahiers des charges soumis à marché public. Darly et Aubry (2014), étudiant des collectivités

territoriales sur un gradient à partir du cœur de Paris, montrent comment (une fois contournée, par des astuces, la clause de localisme dans les marchés publics) sont construites diverses stratégies de restauration collective qui impliquent toutes des coordinations poussées entre groupements d'agriculteurs et organisations de collecte et de cuisine des produits agricoles.

Verrouillage sociotechnique d'un côté, cadrage administratif rigide et réglementation européenne de l'autre, voilà des exemples d'obstacles à dépasser par des innovations. Innovations qui doivent assurer le couplage entre fonctions productive, environnementale et alimentaire et qui, du coup, nécessitent une étroite coopération entre de nombreuses parties prenantes (chapitre 5, « L'innovation ouverte, avec qui et comment ? » et « L'accompagnement des dynamiques de transition »). Certaines sont en cours sur l'enrichissement de produits alimentaires en acides gras oméga 3, d'autres sur la fabrication de nouveaux aliments à base de légumineuses combinant plusieurs sources spécifiques de protéines végétales pour en améliorer la qualité nutritionnelle.

La demande de qualité a fait émerger des exigences de garanties et de traçabilité de l'origine des produits. Déjà présentes dans les années 1990, elles n'ont cessé d'augmenter de la part des acteurs de la transformation et de la distribution pour faire remonter auprès des agriculteurs les exigences des consommateurs. Ces dernières ont porté au premier chef sur la qualité des produits, qui apparaît de plus en plus liée aux pratiques phytosanitaires et biotechnologiques (refus en France des OGM), mais aussi aux contaminations biochimiques associées au développement des bioagresseurs (mycotoxines). Dans la mesure où ils sont liés aux objectifs environnementaux[13] sur la qualité de l'eau, de l'air, des sols et de la biodiversité, les objectifs portant sur la qualité des produits marchands peuvent internaliser dans les prix, au moins pour partie, les fonctions environnementales de l'activité agricole. Encore faut-il des dispositifs de garantie s'appuyant sur des référentiels par culture ou par exploitation que les agronomes contribuent à établir (Le Bail *et al.*, 2006). Se multiplient alors des certificats d'assurance qualité dans l'agroalimentaire, avec leurs exigences de traçabilité et de garantie de mise en œuvre de « bonnes pratiques ». Pour les acteurs de la filière, la certification devient objet de concurrence (à qui aura la meilleure) ; pour les consommateurs, un sac d'embrouilles. Législateurs et chercheurs ont tenté de mettre au point des certifications de qualité à portée générale, comme la certification « Haute valeur environnementale » (HVE) à la suite de la loi Grenelle 2[14]. Selon les principes de l'agroécologie de tenir compte de la spécificité locale des fonctionnements des agroécosystèmes, il semble difficile d'établir des règles de certification générales. Par contre, localement, sur le littoral breton où la lutte contre la prolifération des algues vertes est le problème majeur, Gascuel *et al.* (2015) montrent comment est coconstruit entre les chercheurs et les différents acteurs concernés un référentiel de bonnes pratiques agricoles.

Deux labels cependant font exception à ce manque d'efficience des labels à portée générale : les Indications géographiques et l'Agriculture biologique. Mais ils se différencient nettement. Autour de la notion de terroir, le premier s'appuie sur la spécificité des caractéristiques écologiques d'un milieu duquel il tire la typicité du produit grâce à une organisation qui contient des savoirs et définit des pratiques. Mais n'ayant pas

13. Ils ne le sont pas toujours. Par exemple l'objectif d'un taux élevé de protéines dans les blés est contradictoire avec la réduction de fertilisation azotée.
14. Loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement.

développé d'exigence environnementale, il peut couvrir une production agricole polluante. Cela peut être le cas dans les AOC viticoles. Quant au label Agriculture biologique, créé en 1985, il n'est malheureusement pas fondé sur les bases agronomiques de cette agriculture biologique, mais seulement sur l'interdiction d'utiliser des produits issus de la chimie de synthèse. Ainsi, relativement simple à contrôler, il permet d'identifier les produits issus de ce mode d'agriculture et, par une interdiction radicale, obtient la confiance des consommateurs. En résulte l'engouement actuel pour les filières biologiques. Mais comme elles sont limitées à la recherche d'un marché spécifique de niche, un vaste programme de recherche de référentiels localisés de bonnes pratiques agroécologiques reste ouvert.

Ainsi se multiplient des recherches, auxquelles les agronomes participent, d'organisations de filières très diverses rapprochant la production de la consommation dans un esprit de préservation et de valorisation des ressources locales en même temps que de qualités sanitaires et gustatives. Les stratégies des acteurs de projets alimentaires territoriaux sont, en effet, souvent bien différentes, comme le notent Bonnefoy et Brand (2014). Ces auteurs font ressortir des différences de choix stratégiques entre régions. Ainsi la région Rhône-Alpes a choisi de développer, dès 1980, de l'agriculture périurbaine, alors qu'à la même époque l'Île-de-France choisissait de préserver des espaces ouverts en périphérie de la métropole. Quelle qu'elle soit, cette « relocalisation » ne peut, à elle seule, répondre à tous les enjeux, ne serait-ce qu'aux besoins alimentaires des grandes villes qui doivent s'approvisionner à distance. C'est pourquoi une certaine diversité de formes d'agriculture apparaît nécessaire. Therond *et al.* (2017) présentent une grille de différenciation des formes d'agricultures qui semblent émerger actuellement en fonction de leur degré d'artificialisation des milieux et d'encrage dans les territoires (figure 3.5). Mais il est clair que ne peuvent coexister longtemps des formes d'agriculture aussi diverses que celles représentées sur cette figure, où se trouvent en

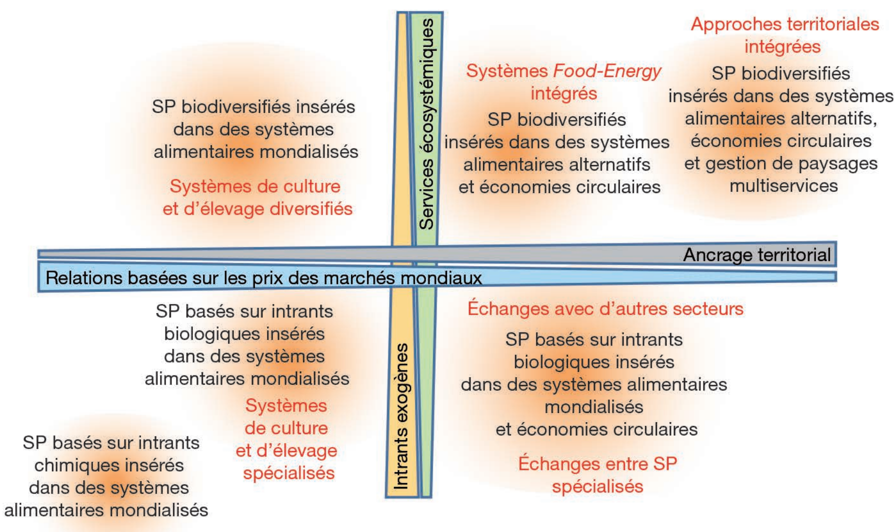


Figure 3.5. Diversité des formes d'agriculture en fonction de leur degré d'artificialisation des milieux et d'ancrage dans les territoires ; SP : système de production (Therond *et al.*, 2017).

rivalité des agricultures rendant des services environnementaux par un surcroît de travail, et d'autres qui poursuivent des stratégies d'augmentation de la productivité du travail pour être concurrentes sur les marchés internationaux. Une régulation politique est donc nécessaire. Où en est-on ?

Aux échelles nationales et internationales : les politiques agricoles et alimentaires

Il faut d'abord remarquer qu'il n'y a pas encore de vraie politique qui soit à la fois agricole et alimentaire tant ces enjeux sont cloisonnés, aux échelles nationales comme internationales. Les politiques publiques, en effet, segmentent les problèmes. Depuis 1999, grâce à la mise en place d'un second pilier dans la PAC, s'est établie une coordination entre ce qui relève de l'Europe et de chacun des États membres autour d'enjeux environnementaux. Ce second pilier rassemble des aides préexistantes, comme l'ICHN, et y ajoute les mesures agro-environnementales (MAE), qui prolongent les opérations locales agro-environnementales (OLAE). Il rémunère les surcoûts et les manques à gagner de techniques contribuant à l'entretien des paysages et à la protection de l'environnement. Des contrats pluriannuels sont proposés à la souscription volontaire des agriculteurs. Ce pilier de la PAC est l'instrument le plus ciblé sur les contributions de l'agriculture à l'environnement. Il donne une place importante à l'initiative locale, génère des dispositifs d'action collective (comités de pilotage, comités techniques, etc.) au sein desquels des acteurs se coordonnent pour mettre en forme la mesure et les modalités de son contrôle. Mais, doté d'un budget dérisoire[15], fondé sur l'adoption volontaire avec un faible taux constaté et une durée limitée, ne portant que sur des contrats à l'échelle parcellaire, il s'avère peu efficace (Steyaert et Papy, 1999). Qui plus est, distinctes du premier pilier, ces aides entérinent une séparation des fonctions productives et environnementales de l'agriculture, à l'opposé du couplage recherché.

À plusieurs reprises les gouvernements en France ont tenté d'encourager des initiatives d'agriculture écologisée. Dès 1993, l'année du vote de la loi sur le paysage, pour répondre au volet « agro-environnement » qui accompagne la réforme de la PAC de 1992, la France propose à l'Union européenne un dispositif expérimental : les plans de développement durable (PDD). À partir d'une analyse paysagère combinant aménagements et systèmes de culture, ils visent à accompagner l'agriculteur pour mettre en place un système de production économe en intrants et autonome (Ambroise *et al.*, 1998). Ils préfigurent les principes de l'agroécologie. Cependant, mille contrats seulement ont ainsi été mis en place. Plus tard, par la loi d'orientation de 1999, la France choisit de mettre en œuvre les soutiens du second pilier non pas mesure par mesure, mais par une approche globale qui reconnaît la multifonctionnalité de l'agriculture. Les contrats territoriaux d'exploitation (CTE) portent sur l'ensemble de l'exploitation et non sur certaines parties. En trois ans, 50 000 sont signés. Mais, trop souvent, ces contrats consistent en une mobilisation individuelle de mesures proposées dans un catalogue, sans remise en cause profonde du fonctionnement de l'exploitation. Enfin, en 2010, la loi Grenelle 2 institue la certification HVE. Mais c'est pendant la période 2012-2017 que le gouvernement de l'époque pousse le plus loin l'idée de faire bouger massivement les exploitations (Doré et Bellon, 2019). En 2012, il lance un plan

15. En 2003, le second pilier représente 8 M€ sur un budget total de la PAC de 47,5 M€.

« Produire autrement » sous l'étiquette de l'agroécologie, avec des actions de soutien à l'agriculture biologique et à l'agroforesterie, de baisse de l'usage des produits phytosanitaires (plan Écophyto), et la mise en place de groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE). Sur un territoire cohérent favorisant des synergies, plusieurs agriculteurs mettent en œuvre un projet agréé par l'État relevant de l'agroécologie[16]. L'accompagnement de ces collectifs d'acteurs demande des formes d'action particulières pour valoriser des dynamiques collectives dans des processus de décision (Coquil *et al.*, 2018). En 2014, une loi dite « d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt » tente de donner une valorisation économique aux démarches agroécologiques en les intégrant dans les signes officiels d'origine et de qualité, et aussi dans la démarche de progrès que constitue la labellisation HVE. Mais toutes ces actions n'aboutissent pas à une reconnaissance suffisante des performances environnementales et alimentaires pour faire bouger l'ensemble des exploitations dans leur diversité. Les surdéterminants à cette évolution sont d'ordre macroéconomique.

Il faut donc examiner comment le cœur même de la PAC, à savoir le premier pilier, qui représente l'essentiel des aides accordées aux exploitations, peut servir à les faire toutes évoluer dans le sens d'une agriculture assurant une alimentation saine en préservant et en valorisant les ressources naturelles. En 2007, conformément aux engagements pris en 1992, les aides directes sont pratiquement toutes découplées[17] et la France choisit de calculer ces aides sur la base d'une référence individuelle dépendant des aides accordées de 2000 à 2002. Le droit à paiement unique (DPU), contrairement aux aides accordées depuis 1992, n'oriente plus le choix de production et favorise les exploitations qui ont les références historiques les plus fortes, à savoir principalement les producteurs de céréales. Une enquête de France Stratégie (Fosse *et al.*, 2019) chiffre les aides publiques à l'agriculture très variables selon le type d'exploitation. À cette date, le premier pilier est donc aux antipodes de ce qui est recherché, puisque l'idée de découplage est fondée sur l'hypothèse d'une indépendance des biens agricoles marchands, qui doivent s'adapter aux fluctuations du marché, et des biens non marchands, comme la préservation des biens publics que sont les ressources naturelles. Alors qu'il faudrait, au contraire, coupler des cultures pour les diversifier et ne pas accorder d'aides qui ne correspondraient pas à un service rendu. Cependant, la réforme de la PAC de 2014 fait légèrement évoluer le premier pilier, *primo* vers plus d'équité entre exploitations, remplaçant le DPU vers un droit à paiement de base (DPB) qui doit progressivement converger, et *secundo* vers plus de protection de l'environnement, car, sous l'appellation de « paiement vert », 30 % du premier pilier sont versés pour rémunérer des pratiques séquestrant le carbone et favorisant la biodiversité (maintien des prairies de plus de 5 ans, pratiques d'au moins 3 espèces cultivées sur les terres arables, et entretien de 5 % de la SAU en « surface d'intérêt écologique », ou SIE, à savoir arbres, haies, bandes tampons, certains types de cultures comme les cultures intermédiaires fixatrices d'azote). Même si l'esprit du paiement vert est quelque peu détourné (interculture entre deux maïs comptée comme diversification, dérogation sur les SIE, etc.), la réforme de 2014 constitue une légère avancée.

Cependant, le défaut majeur de la PAC pour assurer le couplage entre fonction productive et environnementale de l'agriculture est la discordance qu'elle maintient entre les

16. Au début de 2018, 500 projets ont été agréés regroupant 7 500 exploitations.
17. En France, reste comme aide couplée la prime au maintien du troupeau de vaches allaitantes (PMTVA).

outils d'intervention publique. Le second pilier, avec de faibles moyens, répare les dégâts environnementaux et sociaux engendrés par les modalités d'attribution des soutiens du premier pilier. Or, comme le fait remarquer Bazin (2021), dans la nouvelle PAC qui vient d'être négociée, ni le découplage, ni la dérégulation des marchés, ni l'alignement sur les prix internationaux ne sont remis en cause. Pourtant, une politique qui agit sur les fonctions environnementales doit agir sur les orientations de production et donc sur les marchés agricoles. Elle ne peut être déterminée par eux. En effet, comment, dans un marché concurrentiel, éviter le *dumping* social entre pays aux niveaux de vie très différents ? Et comment éviter le *dumping* écologique, alors que les services écologiques attendus sont plus ou moins forts selon les lieux ? Enfin, comment assurer aux agriculteurs du monde entier des rémunérations justes et équitables pour toutes ces fonctions à remplir ? Voilà des questions qui, selon Griffon (2010), sont en rupture radicale avec les politiques actuelles de libéralisation des échanges agricoles et sur lesquelles les agronomes auront à s'impliquer.

Ainsi, en raison des décisions prises au niveau politique supérieur, le défi de réaliser le couplage entre fonctions productive et environnementale est loin d'être relevé. C'est d'autant plus vrai que la PAC n'a pas établi de pont avec une politique alimentaire. Aussi, actuellement, est-ce aux niveaux des États, et plus encore des régions, des métropoles, des territoires locaux que, mettant en synergie des objectifs de qualité sanitaire de la production et de préservation de l'environnement, des décisions peuvent être prises pour faire évoluer l'agriculture. Dans l'immédiat, sans doute est-ce à ce niveau que les agronomes peuvent être les plus utiles.

⏩ Conclusion

Les problèmes abordés par les agronomes depuis le milieu des années 1900 n'ont cessé de se complexifier, car ils ont changé d'échelle (de la parcelle à la planète) et ont dû porter sur la plurifonctionnalité de l'agriculture désormais demandée par la société. Nous avons vu qu'il y avait souvent des discordances entre le bon fonctionnement des agroécosystèmes aux différentes échelles et les niveaux de systèmes de décision agissant sur eux. Parce qu'ils explorent, en les distinguant, ces deux champs d'investigation, les agronomes sont à même d'analyser l'origine des problèmes et d'orienter leur résolution vers la recherche de compromis ou de mises en synergie. Ainsi avons-nous vu qu'il fallait modifier le fonctionnement des agrosystèmes à l'échelle parcellaire pour les rendre compatibles avec le fonctionnement d'une exploitation agricole, du bassin d'approvisionnement d'un centre de collecte ou d'un périmètre d'irrigation s'alimentant au fil de l'eau. Mais il peut y avoir aussi des solutions valorisant les complémentarités entre parcelles de régions différentes par exemple pour fournir une farine de blé dur favorable à la fabrication de pâtes, ou encore entre exploitations pour étaler et diversifier la production dans un bassin maraîcher. Un antagonisme fort est apparu entre la poursuite de l'agriculture des dernières décennies du XXe siècle et des objectifs environnementaux. Aussi, dès lors que l'agriculture s'est vu enjoindre d'assumer à la fois des fonctions productives et environnementales, il est apparu nécessaire de jouer sur deux tableaux : à la fois concevoir de nouveaux agroécosystèmes dans une conception plus écologique, mais aussi revoir le fonctionnement des exploitations agricoles et peut-être plus encore celui des filières, concevoir des projets agroalimentaires territorialisés… et surtout reconsidérer les politiques agricoles. Ces évolutions dans

lesquelles sont engagés les agronomes sont donc profondes. Il s'agit de reconnecter les cycles biogéochimiques en associant culture et élevage, de préserver et cultiver la biodiversité ou encore de rapprocher production et consommation. De telles évolutions remettent en cause la façon de penser les rapports des acteurs aux processus naturels. Très souvent ces rapports sont envisagés comme étant cloisonnés, or un jeu des synergies entre plusieurs processus est possible. Ainsi nous avons vu qu'il était envisageable de concevoir des projets de paysage permettant l'entretien de la biodiversité et la régulation des bioagresseurs, celle des flux d'eau et des systèmes érosifs, la fixation du carbone, mais, plus encore, nous avons vu la possibilité de faire jouer des synergies entre préservation de l'environnement et production d'une alimentation saine. Ainsi le champ d'investigation des agronomes s'ouvre alors aux liens à rechercher entre régimes alimentaires et systèmes de culture/aménagements de l'espace préservant l'environnement.

Cette complexification des problèmes a sensiblement modifié les métiers d'agronome. De prescripteurs et accompagnateurs des agriculteurs qu'ils étaient, les agronomes, dans la recherche des nouveaux agroécosystèmes à mettre en œuvre, ont maintenant un rôle de facilitateurs dans les négociations entre acteurs des territoires autour des questions de production, de transformation et de distribution des produits agricoles préservant l'environnement et la santé.

⏩ Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Classées chronologiquement, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Hénin S., Fraigneaud R., 1960. Quelques considérations sur le problème des assolements. *Comptes-rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*, 519-526

Milleville P., 1972. Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne-Casamance. *Cahiers de l'Orstom, série Biologie*, 17, 23-37. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/biologie/17621.pdf

Osty P.L., 1978. L'exploitation agricole, vue comme un système : diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bulletin technique d'information*, 326, 43-49.

Capillon A., Manichon H., 1979. Une typologie des trajectoires d'évolution des exploitations agricoles (principes, application au développement agricole régional) *Comptes-rendus des séances de l'Académie d'agriculture de* France, 1168-1178.

Gastellu J.-M., 1980. Mais où sont donc ces unités économiques que nos amis cherchent tant en Afrique ? *Cahiers de l'Orstom, série Sciences humaines*, 17 (1-2), 3-11.

Hénin S., 1980a. Rapport du groupe de travail Activités agricoles et qualité des eaux. Ministère de l'Agriculture, ministère de l'Environnement, Paris.

Boiffin J., Papy F., Eimberck M., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. I. Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. *Agronomie*, 8 (8), 663-673. hal-02719230

Meynard J.-M., Girardin P., 1991. Produire autrement. *Le Courrier de la cellule environnement de l'Inra*, 15, 1-19.

Papy F., Douyer C., 1991. Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques. *Agronomie*, 11, 201-215.

Aubry C., Biarnès A., Maxime F., Papy F., 1998. Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de systèmes de culture du Bassin parisien. *Études et recherches sur les systèmes agraires et le développement*, 31, 25- 43.

Meynard J.-M., 1998. La modélisation du fonctionnement de l'agrosystème, base de la mise au point d'itinéraires techniques et de systèmes de culture. *In* : *La Gestion des systèmes de culture : regards d'agronomes* (Biarnès A., Fillonneau C., Milleville P., eds), Orstom, 29-54.

Deffontaines J.-P., Thinon P., 2001. Des entités spatiales significatives de l'activité agricole pour les enjeux environnementaux et paysagers : contribution à une agronomie du territoire. *Courrier de l'environnement de l'Inra*, 44, 12-38.

Schott C., Mignolet C., Meynard J.-M., 2010. Les oléoprotéagineux dans les systèmes de culture : évolution des assolements et des successions culturales depuis les années 1970 dans le bassin de la Seine. *OCL. Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17, 276-291.

Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Tittonell P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34 (4), 197-210. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006

Le Bail M., Le Gal P.-Y., 2011. Analyse et conception des systèmes de production végétale à l'échelle des bassins d'approvisionnement agro-alimentaires. *Agronomie, environnement et société*, 1 (2), 75-86.

Boiffin J., Benoît M., Le Bail M., Papy F., Stengel P., 2014. Agronomie, espace, territoire : travailler « pour et sur » le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie. *Cahiers Agricultures*, 23, 72-83. https://doi.org/10.1684/agr.2014.0688

Lemaire G., Franzluebers A., Carvalho P.C., Dedieu B., 2014. Integrated Crop-Livestock Systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 190, 4-8.

Debaeke P., Pellerin S., Scopel E., 2017. Climate-smart cropping systems for temperate and tropical agriculture: mitigation, adaptation and trade-offs. *Cahiers Agricultures*, 26 (3), 1-12.

Meynard J.-M., Jeuffroy M.H., Le Bail M., Lefèvre A., Magrini M.B., Michon C., 2017. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems*, 157, 330-339.

Billen G., Lassaletta L., Garnier J., Le Noë J., Aguilera E., Sanz-Cobena A., 2019. Opening to distant markets or local reconnection of agro-food systems? Environmental consequences at regional and global scales. *In*: *Agroecosystem Diversity. Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality* (Lemaire G., De Faccio Carvalho P.C., Kronberg S., Recous S., eds), Elsevier-Academic Press, 391-413.

Pellerin S., Balesdent J., Debaeke P., Itier B., 2019b. La prise en charge de l'enjeu climatique dans les recherches du département. *In* : *Une agronomie pour le XXIe siècle* (Richard G., Stengel P., Lemaire G, Cellier P., Valceschini E., coord.), Éditions Quæ, 70-89.

Chapitre 4

L'agronomie en interaction avec les autres disciplines

François Papy, Gilles Lemaire,
Éric Malézieux, Michel Duru

On comprend chaque discipline scientifique à travers son histoire. C'est donc vrai pour l'agronomie, plus peut-être que pour d'autres, tant elle a été et reste, par nature, liée à d'autres disciplines qui ont aussi chacune leur propre histoire. Au chapitre 1, l'agronomie a été présentée comme cherchant à relier « deux centres de gravité » principaux : les processus de production végétale et l'action de l'homme sur ces derniers. L'objet de ce chapitre est de montrer comment les agronomes ont noué des relations interactives, de nature différente, dans ces deux champs de recherche distincts en les élargissant aux disciplines du milieu naturel et de l'alimentation, ainsi qu'aux disciplines économiques, sociales, voire juridiques et politiques. Le positionnement de l'agronomie dans ses relations aux autres disciplines a nettement évolué au cours du temps. Dans la première moitié du XXe siècle jusqu'aux années 1960, l'agronomie, n'étant pas encore totalement définie en tant que discipline scientifique, est avant tout considérée comme la mise en application d'autres disciplines dont elle dépend. Et il faudra attendre que l'identification de l'agronomie se précise dans les années 1960 et 1970 pour que les rapports de l'agronomie à d'autres disciplines changent de nature. Au cours de ces deux décennies, des fondements sont en effet jetés, qui lui donnent une identification plus nette. Les relations qu'elle noue alors avec d'autres disciplines ne traduisent plus des rapports de dépendance, mais de coopération. Ces relations sont plus ou moins interactives et denses. Lorsque, sur une longue période, dans une relation où chaque discipline scientifique garde sa spécificité, il y a échange de concepts, voire d'objets d'étude, nous parlerons d'interdisciplinarité. Le chapitre 1 en donne des exemples. Mais nous ferons également état de relations plus complexes, qualifiées de transdisciplinaires, lorsqu'il s'agit d'étudier un problème qui dépasse chaque discipline, tout en les concernant toutes, et en mobilisant, le cas échéant, les connaissances d'acteurs non scientifiques impliqués.

Pour tenir compte de cette évolution, ce chapitre est organisé en trois sections. Dans la première, du début du XXe siècle jusqu'aux années 1960-1970, les investigations des agronomes ont oscillé entre l'étude des processus biophysiques en jeu dans l'agriculture et celle des pratiques agricoles, mais sans grande connexion entre les deux.

Ces travaux constituent les prémices de ce qui devient, à la fin de cette période, une discipline scientifique et technique. Puis, sur la période de 1980 à nos jours, les agronomes continuent à construire le corpus théorique mis en place dès la fin des années 1970, en reliant les investigations faites entre deux champs disciplinaires pour faire face à la complexification des objets d'étude (chapitre 2) et à des enjeux toujours plus englobants (chapitre 3). C'est pourquoi suivent deux sections qui traitent, en parallèle, dans le champ des sciences naturelles et dans celui des sciences humaines, l'évolution des relations inter et transdisciplinaires de l'agronomie à d'autres disciplines spécifiques à ces domaines. Le choix de ce découpage vient de la spécificité même de ces domaines et de la nature différente de leurs relations avec l'agronomie, ce qui conduit à un plan différent pour les deux dernières sections. Dans la deuxième section, nous montrerons comment les différentes disciplines du domaine des sciences naturelles ont progressivement enrichi le corpus théorique des agronomes sur les processus naturels en jeu et, dans la dernière section, c'est autour de problèmes de relations entre acteurs, communs à plusieurs disciplines, que nous aborderons les interactions de l'agronomie avec les sciences humaines et sociales.

⏩ Du début du XXe siècle aux années 1960-1970 : des tâtonnements à l'identification de l'agronomie

Lorsqu'au XVIIIe siècle se constitue l'ébauche d'une discipline scientifique pour étudier comment améliorer l'agriculture, les connaissances échangées sont de nature empirique. Des observations et des expérimentations de terrain émergent de nombreuses hypothèses, fort différentes, quant aux processus en jeu dans le champ cultivé (Rozier, 1783). Elles concernent alors surtout la nutrition des plantes. Mais au XIXe siècle, une véritable rupture dans l'exercice de l'agronomie s'opère : l'explication des processus d'alimentation des plantes ne provient plus d'investigations réalisées au champ ou fondées sur l'analyse des pratiques, mais de recherches menées en laboratoire.

L'agronomie comme application de la chimie

Ce sont en premier lieu des chimistes qui ont élaboré une vision théorique de la nutrition carbonée, hydrique et minérale des plantes ; d'abord de Saussure, au début du XIXe siècle, tandis qu'à la même époque le grand agronome expérimentateur allemand Thaër défendait toujours la théorie selon laquelle les plantes s'alimentent d'humus ; puis, en 1840, von Liebig confirme la théorie de l'alimentation minérale des végétaux. De cette théorie découle une technique qui s'avérera efficace et constituera le premier socle sur lequel se constituera l'agronomie : la fertilisation minérale. Inspirée par la chimie, l'agronomie s'institutionnalise alors grâce au rôle qu'elle joue dans le contrôle de la qualité des engrais (Jas, 2001).

En effet, en France, l'État devient producteur et vendeur d'engrais à la suite du traité de Versailles de 1918 et de ses conquêtes coloniales. L'Institut de recherche agronomique (IRA), créé en 1921, recrute alors beaucoup de chimistes. À partir du Centre national de recherche agronomique (CNRA) de Versailles, il coordonne les stations d'agronomie réparties sur tout le territoire. Pédro (2005), qui évoque le « règne sans partage de la chimie », en dénombre près d'une centaine où sont pratiquées des analyses d'échantillons de sol, de végétaux et de matières fertilisantes, à des fins de répression des fraudes pour protéger l'agriculteur, mais sans pouvoir s'appuyer sur une théorie pour les interpréter.

Un germe d'autonomie de l'agronomie par rapport à la chimie agricole se fait néanmoins jour pour interpréter les analyses en couplant ces dernières à la réponse des cultures aux engrais. Il est rendu possible grâce au recours à l'expérimentation au champ et à la statistique fisherienne, qui joue alors un grand rôle dans la validation des connaissances (chapitre 2). D'ailleurs, en sens inverse, l'essor de l'expérimentation agronomique constitue un champ d'application très favorable au développement des statistiques. Elles constituent alors la deuxième compétence de base de l'agronome, conférant à l'agronomie une démarche scientifique qui présente cependant l'inconvénient, si elle est mal interprétée, d'engendrer des apparences de rapport de causalité pouvant dispenser d'une analyse explicative. Cette analyse sera mise en œuvre grâce à un approfondissement de la science du sol. Par ailleurs, en se généralisant après la Première Guerre mondiale, la fertilisation minérale (les engrais azotés de synthèse remplaçant les nitrates du Chili qui s'épuisent) engendre une évolution majeure : le découplage entre culture et élevage, auquel, malheureusement, les agronomes ne porteront pas suffisamment d'attention.

À côté de la chimie agricole, l'autonomisation de la science du sol

En 1927, Albert Demolon est chargé de coordonner les stations d'agronomie à partir du CNRA de Versailles. Considérant que les expérimentations de fertilisation minérale, trop souvent au service d'une propagande pour les engrais, ne font pas une part suffisante aux fonctionnements physique, chimique et biologique du sol, il forme le projet scientifique de constituer le sol en objet d'étude autonome. Pessis (2019) présente ce projet d'autonomisation de la science du sol comme s'opposant clairement au corps de chercheurs dominé par les chimistes. Demolon publie, en 1932, *La Dynamique du sol*. Dans l'introduction de l'ouvrage, il écrit : « Toutefois, dans ses revendications d'autonomie, la science du sol ne doit pas perdre de vue que les rapports du sol et de l'agriculture représentent un merveilleux champ d'application, car, ainsi que le proclamait Olivier de Serres en 1600, "la cognoissance du naturel des terroirs que nous voulons cultiver est le fondement de l'agriculture". » Ainsi, Demolon fonde une science du sol généraliste, affranchie de l'approche naturaliste de la pédologie, son projet étant qu'elle puisse ensuite s'appliquer à l'agronomie, bien au-delà de la fertilisation minérale. Ce projet se précise ensuite lorsque deux ans plus tard, en 1934, il complète son premier ouvrage par *La Croissance des végétaux cultivés*. Dans la préface de cette première édition, il précise que son but n'est pas tant d'approfondir les connaissances de physiologie végétale que « d'étudier successivement l'action des divers facteurs, physiques, chimiques et biologiques sur le développement des plantes cultivées pour aboutir à la discussion des lois de la croissance et du problème de la fumure ». L'ensemble de ces deux ouvrages publiés sous l'intitulé général de *Principes d'agronomie* donne un cadre de pensée dans lequel ressort la prédominance du milieu (sol et climat) sur la biologie végétale et selon lequel c'est en modifiant le « milieu cultural » – selon l'expression de Demolon – par les techniques que l'on peut agir sur les végétaux cultivés (chapitre 1, encadré 1.1).

La façon qu'a Demolon de considérer les rapports de la plante cultivée au milieu, selon les conceptions écologiques de l'époque, le conduit à proposer des principes de fertilisation différents des agronomes chimistes, qui considèrent les éléments nutritifs azote (N), phosphore (P) et potassium (K) indépendamment les uns des autres. Considérant

l'interdépendance de ces éléments, il élabore la « doctrine française de fertilisation », qui consiste à donner à l'azote la fonction de « pivot de fumure », à déterminer approximativement, pour une culture, la quantité à apporter et à choisir les doses de phosphore et de potassium de façon à assurer à l'azote son maximum d'efficacité (chapitre 1, figure 1.1). Mais, prenant en compte les premières connaissances de microbiologie des sols, il met en garde sur le fait que « l'apport direct d'azote trouble [la fixation microbienne du sol] et rend la terre paresseuse à fixer l'azote de l'air ; les engrais azotés se comportent en la circonstance comme un facteur antagoniste »[1]. Ce faisant, Demolon montre qu'il est conscient des limites de certaines actions sur le milieu pour favoriser la croissance des plantes, dans la mesure où elles entravent des processus naturels favorables à cette croissance. Nous verrons que les agronomes mettront du temps à concevoir des interventions culturales qui tiennent compte des régulations biologiques à l'œuvre dans les agroécosystèmes. Demolon ne manque pas de souligner également l'intérêt de bien utiliser la fixation symbiotique par l'association de légumineuses aux graminées dans les prairies et de légumineuses à graines dans les rotations. Cependant, malgré l'intérêt qu'il porte à la microbiologie des sols, la place qu'il fait à l'humus dans la fertilité des sols est réduite à ses effets sur les propriétés physico-chimiques. À la même époque, l'Anglais Howard (1940), dans son *Testament agricole*, à partir des nombreuses observations de pratiques paysannes faites en Inde, pressent un ensemble de fonctions joué par l'humus. Mais ses idées, reposant sur des savoirs empiriques plus que sur des théories, non encore élaborées, ne sont pas reconnues dans la communauté scientifique. On verra au chapitre 6 que cette réserve vis-à-vis des savoirs empiriques s'est traduite par une longue période d'indifférence à l'agriculture biologique de la part des institutions de recherche, à laquelle a succédé un intérêt de plus en plus poussé qui se traduit maintenant par des programmes qui lui sont dédiés.

Cependant, pendant la Seconde Guerre mondiale, nécessité faisant loi, la pénurie d'engrais (fabrication d'explosifs dans les usines productrices d'azote, arrêt des importations de phosphates) conduit à une réhabilitation des pratiques organiques et de leurs fondements théoriques (Pessis, 2019). La limitation forcée de la fertilisation minérale donne aux agronomes, Demolon en tête, un élan pour accentuer les recherches en microbiologie des sols. Des recherches sont entreprises sur la valorisation des ordures ménagères, la sélection de souches microbiennes symbiotiques des légumineuses, l'introduction de ces dernières dans les rotations, ainsi que sur des cultures dérobées pour limiter les pertes en nitrates. Mais, comme nous le verrons, la guerre finie, c'est la fertilisation minérale qui sera rapidement privilégiée en raison de son efficacité immédiate sur le rendement des cultures.

Agronomie et géographie : description et évaluation des pratiques agricoles

À côté des agronomes qui approfondissent la connaissance des processus au sein du champ cultivé, d'autres étudient les procédés de culture que pratiquent les agriculteurs : choix des espèces cultivées, rotations pratiquées, proportions entre terres de culture et prairies naturelles utilisées par des élevages, en appliquant couramment le concept de système de culture dans le sens qu'en a donné de Gasparin (chapitre 1, encadré 1.6).

1. *La Dynamique du sol*, p. 474 de la 5e édition.

Ils se placent dans la suite des études régionales de Hitier (1913), professeur à l'Institut national agronomique (INA), qui fait une place importante à la géologie, mais aussi à la géographie de Vidal de La Blache. Ils mettent donc en rapport les caractéristiques du milieu (sols et climat) et les pratiques agricoles dans des études régionales, comme le font également les géographes qui abordent, à cette époque, les questions agraires. La géographie régionale est, en effet, en vogue chez les géographes français qui utilisent le concept de système de culture dans un sens très voisin de celui de de Gasparin (George, 1974). Exemple de proximité de ces deux disciplines : de 1929 à 1955, agronomes et géographes participent à la délimitation, sur le territoire métropolitain, de 432 « petites régions agricoles » qui servent de base à de nombreuses investigations microrégionales et à la publication de données statistiques (Ravignan et Roux, 1990).

Outre-mer, les pratiques traditionnelles des paysans restent peu étudiées, à quelques exceptions près. Il faudra attendre l'après-guerre pour que les pratiques agricoles paysannes et leurs déterminants soient réellement pris en compte. L'objectif est principalement de s'affranchir des contraintes locales, naturelles et humaines, pour « rationaliser » et augmenter la production par une artificialisation du milieu. C'est la période de la mise en place des grandes plantations de palmier à huile, de cocotier, d'hévéa, etc., et l'objectif des agronomes est principalement d'apporter une fumure optimale aux cultures mises en place. La recherche tropicale donne alors la priorité aux grandes productions capables d'alimenter en matières premières un Occident qui s'industrialise : coton, huile de palme, café, cacao, etc.

Quelques agronomes choisiront néanmoins de s'intéresser aux pratiques locales. Un bon exemple en est l'ouvrage publié par Dumont, en 1935, après trois ans passés dans les rizières du delta du Tonkin. Rare ouvrage de ce type consacré par un agronome aux pays d'outre-mer, qui sera heureusement suivi par de nombreux travaux de géographes tropicalistes, comme la thèse de Pélissier (1966). En concevant des propositions d'amélioration des techniques traditionnelles à partir de comparaisons de situations, Dumont jette les bases d'un futur enseignement d'« agriculture comparée » (Cochet, 2011). En métropole, des études similaires sont entreprises. Dans les régions considérées comme présentant des conditions de production proches, les agronomes repèrent les « meilleurs agriculteurs » pour faire connaître leurs « bonnes pratiques », sans être bien capables toutefois d'en analyser ce qui en fait le succès (voir chapitre 2, « La normalisation des "bonnes pratiques" »). L'article de Riedel et Franc de Ferrière (1951), paru après la guerre, est significatif de cette démarche qui vulgarise auprès des agriculteurs de la Brie les « bonnes pratiques » à partir d'une classification pédologique des sols de limon. La mise en rapport, à l'échelle régionale, des caractéristiques des milieux avec les cultures pratiquées et les rendements obtenus conduit les agronomes à parler de « vocation agricole », terme un peu trop empreint d'un certain déterminisme géographique que, d'ailleurs, les géographes ne défendent pas, imprégnés qu'ils sont de culture historique, et que les agronomes remplaceront plus tard par « aptitudes culturales » (Hénin, 1980b).

Ainsi, jusqu'au début de la guerre et même dans la décennie qui a suivi, l'agronomie n'est pas encore établie sur des bases fermes. On relève, d'un côté, des recherches qui se veulent fondamentales sur le sol, et des recherches plus appliquées sur le climat et les plantes cultivées qui, en définitive, intègrent peu le choix des techniques, mise à part la fertilisation ; de l'autre, une description des pratiques culturales paysannes dans des situations mises en comparaison, mais sans corpus explicatif des processus.

Agronomie et génétique : une division inégale du travail en faveur du progrès technique

Alors que l'agronomie est encore bien tâtonnante, l'amélioration des plantes, qui s'appuie sur les fondements théoriques bien établis de la génétique, connaît des progrès plus mesurables. Juste après la Seconde Guerre mondiale, la priorité est à la reconstruction de l'agriculture nationale. Il faut que la France puisse subvenir le plus vite possible à ses besoins alimentaires. Dumont, en 1946, esquisse un plan d'orientation et d'équipement. La priorité est d'augmenter la production et la productivité du travail par la sélection des plantes, la fertilisation et la mécanisation selon la voie américaine du « progrès » que Dumont, alors, cite en exemple[2]. Le même schéma de progrès est appliqué dans toutes les colonies françaises en Afrique et en Asie par les instituts de recherche spécialisés récemment créés. Aussi, lorsqu'est créé, en 1946, l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), une rude bataille se joue entre les tenants de différentes disciplines scientifiques. Les recherches fondamentales poursuivies par Demolon ne sont plus de mise. Le rapport de force est en faveur de Charles Crépin, directeur de la Station centrale d'amélioration des plantes, à qui est confiée la direction de l'Inra (chapitre 6). L'amélioration des plantes deviendra alors pendant longtemps le domaine phare de l'Inra (Bonneuil et Thomas, 2009).

Ainsi, en France comme dans le monde entier, s'installe, par une extrapolation abusive de la loi dite « des facteurs limitants » énoncée par von Liebig, une séparation des fonctions de recherche : à la génétique le rôle moteur de sélectionner des variétés au plus haut potentiel permis par les variables non modifiables du milieu (température, rayonnement, etc.), à l'agronomie de réduire ce qui en limite l'expression. Généralisant la loi des facteurs limitants, énoncée par von Liebig pour les éléments nutritifs, aux contraintes physiques du sol, excès ou manque d'eau, maladies, ravageurs, etc., les agronomes se spécialisent. Chaque agronome s'intéresse prioritairement à un facteur limitant, comme le notent Cornu et Meynard (2020).

Le même contexte s'instaure dans les régions de l'outre-mer. Les instituts, structurés par espèces cultivées et par filières de production (chapitre 6), déploient dans les colonies des stations de recherche focalisées sur la productivité d'espèces végétales destinées à fournir des produits d'exportation à une métropole demandeuse. En lien avec des intérêts privés, des plantations monospécifiques (palmiers à huile, cocotiers, hévéas, caféiers, cacaoyers, bananeraies, ananas, manguiers, etc.) sont établies, lieu d'évaluation des nouveaux hybrides issus des laboratoires et des champs d'essais des chercheurs en amélioration des plantes, et bases de production pour l'exportation. Le dispositif est installé au Sénégal, en Guinée, en Côte d'Ivoire, au Togo, au Bénin, à Madagascar, en Indochine, etc. La plupart des disciplines (agronomie, mais aussi entomologie, phytopathologie, nématologie, technologie alimentaire) répondent à l'organisation mise en place autour de l'amélioration des plantes, dans la perspective d'optimiser la productivité de nouveaux génotypes.

Beaucoup (les généticiens, mais aussi les acteurs de la décision publique) considèrent que c'est avant tout par l'amélioration des plantes que la recherche peut répondre aux

2. Alors que, pragmatique, il condamne une mécanisation brutale sur des sols fragiles dans les pays colonisés (Pessis, 2019).

injonctions de la puissance publique d’augmenter la production agricole : la génétique apportera le progrès. Des essais multilocaux font ressortir les comportements des variétés. Et, sous la direction de la Station centrale d’agronomie générale et de biochimie, les stations d’agronomie, sur l’ensemble du territoire, continuent à être « des bureaux d’études de la fertilisation ». L’expérimentation de techniques de fertilisation a donc le vent en poupe dans des démarches phytotechniques qui visent, par la recherche empirique de « paquets techniques », à augmenter les rendements de variétés améliorées en permettant l’expression de leur potentiel en fonction d’un milieu donné qu’il convient de modifier en conséquence. Sont ainsi établies des relations « techniques → rendement », tout au plus des relations « paquets techniques → rendement », pour tenir compte des relations entre les techniques culturales successives. Ces travaux aboutissent à des recommandations de type normatif auprès des agriculteurs (chapitre 2). La même démarche s’applique dans les régions d’outre-mer, où de grandes stations sont créées et dédiées à l’amélioration des plantes. Les variétés performantes sont ensuite fournies aux planteurs, accompagnées du « paquet technique » censé être optimal. Les productions serviront essentiellement à approvisionner la France en matières premières alimentaires (fruits, huile, café, cacao, etc.) ou industrielles (coton, latex). Si, dans les institutions de recherche, l’amélioration des plantes tend à mettre l’agronomie sous sa coupe, les contenus d’enseignement des chaires d’agriculture des institutions d’enseignement supérieur illustrent parfaitement la séparation qui existe, au cours des premières décennies suivant la guerre, entre agronomie et amélioration des plantes (chapitre 7). D’un côté (à Paris et à Grignon), l’enseignement sait différencier les milieux et diffuse peu ou prou les « Principes d’agronomie », de l’autre (à Rennes et à Montpellier), c’est l’amélioration des plantes qui domine avec l’idée d’introduire dans les plantes un progrès génétique. Tandis que les agronomes ont de la diversité génétique une appréhension très sommaire qui se réduit à ce qu’ils appellent « l’effet variété ». Il faudra attendre les années 1990 pour qu’un lien se fasse après de longues décennies d’ignorance réciproque.

Agronomie et sciences animales : des relations qui se compartimentent

La première révolution agricole au XVI[e] siècle en Europe avait consacré une étroite imbrication entre agriculture et élevage, concrétisée par les rotations dites « de Norfolk » en Angleterre, où l’introduction de soles pâturées de prairies à base de légumineuses dans la rotation des cultures avait fait passer les rendements céréaliers de 10 à 20 quintaux par hectare (Lemaire *et al.*, 2019b). Les animaux d’élevage n’étaient plus seulement des consommateurs d’espaces communs extérieurs à l’*ager* du cultivateur ou de résidus alimentaires familiaux, mais devenaient constitutifs d’un agrosystème en apportant des fonctions essentielles tant sur le plan agronomique par le découplage et le recouplage des cycles des éléments minéraux (carbone, azote, phosphore), le maintien de la fertilité des terres, la diversité des rotations et des assolements, que sur le plan économique, par la trésorerie des exploitations, la diversification et la valorisation des produits et du travail. Les métiers de cultivateur et d’éleveur étaient alors indissociables au sein de chaque exploitation, d’autant plus que le cheptel de trait était essentiel.

La motorisation (le tracteur et le fioul remplaçant l’animal de trait et l’avoine) et l’utilisation des engrais de synthèse, qui se sont développées depuis les années 1950, ont permis la disjonction de la production du champ de celle de l’étable, tant à l’échelle

de l'exploitation individuelle que de régions entières (chapitre 3). L'agronomie s'est alors consacrée à la production du champ cultivé, essentiellement céréalier, laissant la gestion des troupeaux à une zootechnie naissante s'émancipant des sciences vétérinaires. Cette dichotomie a eu lieu dans tous les pays développés (États-Unis, Europe, Australie, puis Argentine, Brésil, etc.) dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, entraînant une séparation structurelle et institutionnelle de plus en plus importante entre la recherche en production végétale et la recherche en production animale. Ainsi, la production fourragère d'une part, et le recyclage des éléments nutritifs par les déjections animales d'autre part, qui étaient à la base du fonctionnement des systèmes de polyculture-élevage, ont été disjoints et donc mal traités, malgré leur rôle essentiel dans la régulation d'ensemble d'un système de production agricole cohérent.

Le lien le plus direct entre agronomie et zootechnie a été celui des herbivores domestiques et de la prairie. La révolution fourragère (« l'herbe, ça se cultive… » !), débutée en 1945, s'est concrétisée par :
– la volonté de la génétique de faire bénéficier aux prairies, par l'amélioration des plantes, le progrès génétique alors déjà en marche pour les céréales (création à l'Inra de la station de Lusignan), en remplaçant les prairies naturelles jugées peu productives par des prairies temporaires et artificielles ;
– le souhait des agronomes d'utiliser les fourrages et des prairies temporaires dans les rotations (*ley-farming*) pour améliorer la fertilité et surtout la structure des sols (Monnier, 1957), et d'augmenter la productivité des prairies grâce aux amendements et à la fertilisation minérale ;
– l'objectif des zootechniciens d'assurer une nutrition équilibrée des animaux grâce aux ressources fourragères produites en étudiant le déterminisme de la qualité des fourrages et de leur valorisation par les ruminants (travaux de Jarrige, puis Demarquilly).

À cette époque, 1950-1980, le triptyque amélioration des plantes, agronomie, zootechnie a réellement organisé la révolution fourragère. Des débats animés ont eu lieu à l'époque entre les tenants du retournement des prairies permanentes naturelles, jugées peu productives (René Dumont, Jean Rebischung), et ceux prônant au contraire leur maintien et leur valorisation (André Voisin, Louis Hédin). Les agronomes se sont montrés partagés entre ces deux tendances, entre ceux privilégiant l'approche phytosociologique et écologique des prairies naturelles (Jeannin, de Montard) et ceux privilégiant la production fourragère par la culture de l'herbe grâce à l'utilisation des engrais. Étrangement, l'agronomie est restée relativement à l'écart de cette problématique en concentrant ses études sur les systèmes de culture d'espèces annuelles, essentiellement céréaliers, et ayant peu d'interactions avec l'élevage. Elle a d'ailleurs contribué indirectement à la disparition massive des prairies permanentes en accompagnant leur drainage, réalisé par les ingénieurs du génie rural, et leur chaulage, ce qui a permis leur retournement et leur conversion en terres arables.

L'identification de l'agronomie, tournant dans ses relations aux autres disciplines

C'est donc essentiellement sur les cultures d'espèces annuelles que, dans les années 1960 et 1970, les fondations de l'agronomie comme discipline autonome ont été posées. Sans doute est-ce parce qu'elle a été refondée, en France, dans une école d'ingénieur (chapitre 7) que l'agronomie a cherché à relier « comprendre et agir » à travers deux

démarches nouvelles et complémentaires. L'une est une démarche clinique, qui permet à partir d'observations *in situ* d'inférer des fonctionnements que des connaissances théoriques ont permis d'établir, l'autre, une démarche conceptualisant la logique décisionnelle qui génère les systèmes d'action technique à mettre en œuvre pour agir sur les fonctionnements. Ces démarches faisaient jusqu'à présent défaut aux investigations des agronomes. Elles leur ont permis d'avoir un objet d'étude bien spécifique, le champ cultivé (chapitre 3), et de concevoir l'action de cultiver comme résultant de boucles de rétroactions entre diagnostics et conception de systèmes d'action.

L'approche clinique pour comprendre les processus

À la retraite de Demolon, Hénin, dès 1945, prend la tête du laboratoire des sols qu'il parviendra ensuite à étoffer. À partir de sa compétence spécifique en physique du sol, il poursuit la réflexion générale de Demolon sur ce que peut devenir l'agronomie. Et c'est pourquoi, en France, l'agronomie s'est trouvée dans la filiation de cette branche de la science du sol, ce qui lui a évité la tutelle exclusive de la chimie. On peut certes regretter la place prise par ces processus physico-chimiques du sol dans l'explication des phénomènes par rapport à l'importance des régulations biologiques, telles que les avait pressenties Demolon à propos de l'azote. Mais, pour comprendre le rôle que ce laboratoire a joué sur la refondation de l'agronomie, l'essentiel n'est pas là. Il est dans le pont jeté entre des études théoriques en laboratoire et en stations expérimentales et les pratiques agricoles, qui comble une lacune que nous avons soulignée au cours de l'époque précédente. Qu'une partie de ce laboratoire s'intitule « laboratoire des techniques culturales » est significatif, tout au moins de ses intentions de recherche. L'ouvrage *Le Profil cultural* (chapitre 1, figure 1.2), qui paraît en 1960 juste après la nomination de Hénin comme professeur d'agriculture générale à l'INA (chapitre 7), est le fruit des travaux de son équipe de l'Inra. Il a été conçu pour être « une méthode d'examen de l'état du sol affecté par les façons culturales et exploité par les racines » (Hénin *et al.*, 1960). Il sera abondamment utilisé dans l'enseignement par ses premiers assistants au cours des tours de plaine (Sebillotte, 1969) (chapitre 2).

On peut considérer Hénin comme le fondateur d'une démarche clinique du diagnostic agronomique *in situ*, qui renoue ainsi avec la « clinique agricole » de Dombasle (Benoît et Knittel, 2017). Il n'est pas étonnant que le profil cultural, portant sur l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques, ait servi d'outil de diagnostic. En effet, cet état, sur l'évolution duquel l'agriculteur peut intervenir, conditionne beaucoup le fonctionnement du champ cultivé. Le profil cultural permet de faire un lien explicite et en partie explicatif entre des états du milieu, des interventions culturales et leurs effets conjoints sur la performance des cultures. Il a permis aux agronomes d'étudier le champ cultivé pas seulement, comme ils le faisaient jusqu'à présent, pour y décrire les façons culturales qui y sont pratiquées, ou pour y préconiser des techniques de fertilisation, mais pour inférer son fonctionnement à partir de mesures et d'observations. Comme indiqué au chapitre 2 (voir « Le diagnostic-conseil »), le profil cultural devient un outil de diagnostic qui se pratique à l'échelle d'une station représentative d'une zone homogène au sein d'une parcelle (chapitre 3).

Mais les agronomes ont très vite eu besoin de compléter cet outil de diagnostic du sol par un diagnostic de la plante. Dès la fin des années 1960, ils ont précisé leurs connaissances sur l'effet des techniques culturales sur les facteurs et les conditions de la croissance

et du développement des plantes, utilisant les premiers travaux de physiologie végétale et de bioclimatologie dus à Geslin, mais surtout ceux du laboratoire d'étude des sols dont Monnier a pris la direction. Ces connaissances leur ont servi à concevoir des schémas d'élaboration du rendement dans les années 1970. Ces outils consistaient à mettre en relation l'évolution des états du milieu avec les différentes composantes du rendement au cours des étapes successives où s'élabore chacune d'elles sous l'effet des techniques, des événements climatiques et des agents pathogènes. C'est pourquoi ils ont été surtout utilisés pour les céréales (Boiffin *et al.*, 1981) et de façon plus générale pour les espèces annuelles productrices de grains dont le cycle cultural peut être découpé en étapes et repéré par des stades phénologiques (chapitre 1, encadré 1.4, et chapitre 2, figure 2.1). Ils ont cependant été assez vite établis pour la betterave sucrière (Papy, 1973) et la canne à sucre (Jouve, 1976), puis adaptés à d'autres cultures et enrichis, plus tard, de connaissances en écophysiologie (Malézieux, 1988). Ils seront alors progressivement intégrés dans les modèles de culture. Nous allons voir que l'étude des principaux processus du fonctionnement du peuplement végétal apportera une plus forte consistance théorique à cet outil (Combe et Picard, 1994). Cependant, ces deux outils de diagnostic (le profil cultural et le schéma d'élaboration du rendement), utilisés au départ par les agronomes, présentent des limites quant à leur capacité de rendre compte de l'ensemble des processus qui interviennent dans la production de matière végétale. Aussi les agronomes vont-ils approfondir leurs connaissances sur ces processus grâce à des apports venant de disciplines voisines.

La conception de systèmes techniques pour comprendre les logiques de décision

Monnier (1969) analyse comment les techniques permettent d'adapter le milieu aux besoins des plantes et au maintien du sol en « bon état de culture ». Puis, montrant qu'une technique a de multiples effets (dont certains indésirables), qu'il n'existe pas de relation bi-univoque entre techniques culturales et caractéristiques du milieu et que l'effet des techniques est conditionné par l'aléa climatique, il conclut « que l'ensemble des techniques appliquées à une culture doit être considéré comme un tout ». C'est en raison de ce lien que des conseils sont donnés aux praticiens sous forme de paquets techniques à mettre en œuvre, se présentant comme des recettes. Mais c'est considérer l'agriculteur comme un exécutant et non comme un acteur qui a des objectifs, des connaissances issues de son expérience, ainsi d'ailleurs que des contraintes qui lui sont propres. C'est pourquoi l'article de Sebillotte (1974) peut être considéré comme le second élément fondateur de l'agronomie en complément de la démarche clinique. En effet, y lit-on, l'agronome doit « répondre à toute une série de questions que lui pose l'agriculteur ». Et pour ce faire, Sebillotte ne se contente pas de dresser une liste de références pour répondre à ces questions. Il imagine l'agronome en situation d'action. À l'échelle spatiale de la parcelle cultivée et temporelle du cycle cultural, les agronomes doivent, dit-il, concevoir des itinéraires techniques qui sont définis, dans cet article, comme « des combinaisons logiques et ordonnées de techniques ». C'est une vision d'enchaînement dynamique d'interventions culturales s'apparentant au concept industriel de génie des procédés qui nécessite de comprendre les décisions qui en sont à l'origine. Aussi, empruntant des concepts aux disciplines sur la cognition et la décision, l'article précise que l'itinéraire technique *primo* résulte d'un choix fait, face à des risques, entre plusieurs

stratégies possibles pour atteindre un objectif donné, et *secundo* contient des règles tactiques d'adaptation immédiate des opérations culturales à des aléas. C'est le début d'une théorie agronomique de l'action qui suppose que l'acteur a des objectifs, fonction de possibilités et de contraintes qu'il perçoit, et une représentation de l'évolution probable des événements dans laquelle il doit agir. Il faut croire que, mettant l'agronome en situation d'action, Sebillotte s'est bien rapproché de la réalité, car le concept d'itinéraire technique a tout de suite été utilisé dans une démarche compréhensive des pratiques, c'est-à-dire des techniques mises en œuvre par les agriculteurs. C'est ainsi que, dès 1979, Papy et Lelièvre utilisent ce concept pour comprendre les différences de pratiques d'installation de la sole céréalière, en climat méditerranéen, dans les différents types d'exploitations rencontrés. Ils montrent que, pour répondre à l'antagonisme qui existe, pour tous les agriculteurs, entre la nécessité de semer tôt pour bénéficier de la courte saison des pluies et celle de maîtriser les adventices, il n'existe pas de solution unique. Les itinéraires techniques, différant d'ailleurs selon les exigences des orges et des blés, diffèrent aussi, pour une même espèce, selon les risques qu'il est possible de prendre en fonction des moyens de préparation du sol dont dispose chaque agriculteur.

L'itinéraire technique ayant montré sa pertinence comme concept d'action, Sebillotte va ensuite s'en inspirer pour stabiliser la signification de système de culture qui, jusqu'alors, ne l'était guère (chapitre 1). Sur un pas de temps pluriannuel, le système de culture peut se définir comme une suite logique et ordonnée de cultures successives, avec comme objectifs le rendement de chacune d'elles et le maintien des capacités productives de la parcelle. Le concept de système de culture inclut celui des itinéraires techniques appliqué à chaque culture. Selon la question étudiée et le pas de temps sur lequel elle doit l'être, à la fin des années 1970, les agronomes utilisent l'un ou l'autre de ces deux termes pour désigner le système technique appliqué à une parcelle cultivée[3]. Pour rester fidèles à cette acception liée à l'action, les agronomes francophones utilisent *cropping system* pour traduire le terme français de système de culture. Cependant, comme le souligne Fresco (1984), le sens est différent en anglais ; il désigne l'ensemble des activités de production végétale au sein de l'exploitation agricole. Les agronomes francophones ne peuvent cependant pas traduire, sans trahir leur pensée, système de culture par *cropping pattern* qu'utilisent Zandstra *et al.* (1981). Aussi ont-ils pris soin, au début, de souligner la diversité des acceptions et la signification qu'ils en donnent, comme le font, par exemple, Boiffin *et al.* (2001). On peut se demander si, au fil du temps, cette précaution n'étant pas toujours prise, ils restent bien compris.

À partir d'une démarche de diagnostic et des concepts d'itinéraire technique et de système de culture, les agronomes construisent alors les bases d'un corpus théorique qui relie les connaissances sur les processus biophysiques à des logiques d'action résultant de processus de décision. Dès lors, l'agronomie ne peut plus être envisagée comme application d'une autre discipline, quelle qu'elle soit. De laquelle, d'ailleurs, le serait-elle ? Son objet d'étude est le système constitué à la fois par les processus naturels sur lesquels agit l'agriculteur et par les logiques d'action de ce dernier.

Dans la section suivante, nous allons voir comment, avec des sciences naturelles, les agronomes ont enrichi leur corpus théorique dans des relations interdisciplinaires

3. Avec les zootechniciens, ils compléteront plus tard ces concepts par ceux de système de pâturage et de système fourrager.

en passant de l'agrosystème à l'agroécosystème ; puis comment, munis de ce dernier, au-delà des questions de production, ils ont pu aborder les questions d'environnement, de biodiversité et de santé dans des relations transdisciplinaires. Dans la dernière section, ce sont les relations avec les sciences humaines et sociales qui sont abordées. Mais cette fois non par discipline, mais autour de deux objectifs : remonter la chaîne des processus décisionnels jusqu'aux systèmes sociotechniques et politiques qui influent sur les systèmes de culture et se donner des bases scientifiques pour s'impliquer dans la diffusion des connaissances sur les processus et pour concevoir des innovations.

⏩ À partir des années 1980, avec les sciences naturelles, mieux comprendre pour mieux agir

Nous avons vu au chapitre 3 comment les agronomes ont été confrontés à des problèmes de complexité croissante. Ajoutant aux problèmes de production ceux liés à l'environnement, ils ont été conduits, grâce à des collaborations avec d'autres disciplines que nous allons retrouver ici, à reconsidérer leur corpus théorique pour concevoir ce qu'ils appellent désormais l'« agroécosystème ». Suivant un sens pratiquement inverse, nous allons, dans ce chapitre, partir des relations interdisciplinaires ayant permis de construire le concept d'agroécosystème pour voir comment, par des collaborations transdisciplinaires, les agronomes ont pu aborder les problèmes qui font l'objet du chapitre 3. Cependant, avant de suivre, au cours du temps, l'enrichissement conceptuel ayant conduit à l'agroécosystème, faisons le point sur la situation de l'agronomie en France au tournant de l'année 1980.

Avec la physico-chimie du sol et la physique du climat, agir sur le milieu cultural de la plante cultivée : l'agrosystème

Pour étudier l'ensemble « climat-sol-plante-techniques » tel que représenté dans la figure 2.7 du chapitre 2, les agronomes utilisent un bagage conceptuel venu essentiellement de la physico-chimie du sol et de la physique du climat. Ces connaissances portent sur les effets sur la plante cultivée du milieu cultural, pour reprendre l'expression de Demolon, essentiellement physico-chimique. Leur spécificité est d'étudier l'effet du système technique appliqué (itinéraire technique ou système de culture, selon le pas de temps considéré) sur cet ensemble pour en tirer un rendement se rapprochant le plus possible du potentiel. Les emprunts conceptuels faits aux disciplines du sol et du climat ont été largement présentés au chapitre 1 : texture, structure, stabilité structurale, capacité d'échange, réserve utile, point de flétrissement, rayonnement, évapotranspiration potentielle et réelle, etc. Dans cet héritage, les disciplines du milieu physique dominent. Les collaborations se poursuivent. Il n'en a pas été de même avec la physiologie végétale. Dès les années 1950, pourtant, les collaborations entre l'agronomie et la physiologie végétale avaient permis d'étudier les grandes fonctions physiologiques impliquées dans la production végétale : croissance et développement des plantes, assimilation du carbone, absorption et assimilation de l'azote et des minéraux, composition biochimique des plantes et qualité des récoltes. Ainsi, les travaux de Coïc (1956) sur la dynamique des besoins en azote du blé avaient permis aux agronomes de préconiser le fractionnement des apports d'engrais azotés afin de faire coïncider au mieux la disponibilité de cet élément très mobile dans le sol avec la période de besoins élevés des cultures. De la même manière, des travaux sur la

vernalisation des plantes et sur les effets de la photopériode avaient jeté les bases des modèles de développement des espèces cultivées qui ont servi d'échelle phénologique pour raisonner les interventions culturales sur les différentes espèces cultivées. Cependant, très vite, le besoin pour la physiologie végétale d'expliciter de manière de plus en plus poussée les mécanismes biologiques sous-jacents aux différentes fonctions a fait basculer cette discipline vers l'approche *in vitro*, à l'échelle de l'organe, voire du tissu ou même de la cellule, en s'éloignant donc de plus en plus du fonctionnement de la plante entière et, *a fortiori*, du peuplement végétal. Pour un temps, une rupture entre agronomie et physiologie végétale s'est ensuivie.

Dès lors comment, au début des années 1980, les agronomes utilisent-ils ces matériaux conceptuels venant d'autres disciplines ? Ils les utilisent à des fins de diagnostic sur les champs des agriculteurs (ou sur des parcelles d'essais) et à des fins de conception d'itinéraires techniques pour atteindre, au début tout au moins, les rendements potentiels.

Le premier de ces usages (le diagnostic) est bien illustré par la façon dont ils organisent leurs connaissances théoriques dans les schémas d'élaboration du rendement. La figure 4.1, tirée d'une étude de diagnostic régional sur la fertilisation azotée du blé, le montre bien (Boiffin *et al.*, 1981).

Cet exemple montre la façon dont les agronomes étudient, au début des années 1980, le fonctionnement de la parcelle cultivée qui est schématisée par la figure 4.2a (encadré 4.1) pour illustrer ce que nous appelons l'agrosystème. Le système technique s'applique sur les facteurs du milieu pour permettre à la plante cultivée d'aboutir à une production[4]. Les diagnostics permettent de revoir, si besoin est, en cours de culture l'itinéraire technique, et dans tous les cas de le reconsidérer une fois le cycle achevé dans une démarche itérative de type retour d'expérience.

Le second usage des apports venant des disciplines du milieu cultural consiste à concevoir de nouveaux systèmes techniques. Ainsi par exemple, dans le cas de la fertilisation, les diagnostics d'analyses de sol permettent de pronostiquer la réponse de la plante en fonction de ses exigences propres et donc d'ajuster des doses d'apport. Pour l'azote, compte tenu de la dynamique et de la mobilité de cet élément, la démarche est un peu plus complexe. À partir d'un diagnostic sur le reliquat de l'azote minéral dans le sol en début du cycle cultural, elle consiste à établir un bilan prévisionnel entre la demande de la plante liée au rendement objectif, les fournitures en azote du sol et les pertes par lixiviation et par émissions atmosphériques, pour en déduire une dose optimale d'apport (Hébert, 1969 ; Rémy et Hébert, 1977). La méthode du bilan prévisionnel repose sur l'hypothèse que l'ensemble de l'azote minéral du sol disponible depuis la mesure du reliquat jusqu'à la récolte est utilisé par la plante. Les agronomes se rendront compte plus tard que dans sa mise en œuvre, et même dans son principe, cette méthode conduit à une surfertilisation. Une autre méthode de raisonnement de la fertilisation consiste en un diagnostic de la nutrition minérale de la plante à partir d'analyses de feuilles réalisées à des moments clés de son cycle phénologique. Cette approche par le diagnostic foliaire a largement été utilisée de façon efficace sur les plantes pérennes tropicales (palmier à huile, cocotier, hévéa, etc.), dès les années 1960, pour établir des plans de fumure censés procurer des rendements proches du rendement potentiel.

4. Notons que c'est une conception qui s'applique aux cultures annuelles où il est possible de ne pas intervenir sur la plante cultivée, ce qui n'est pas vrai des cultures pérennes, herbacées ou arbustives.

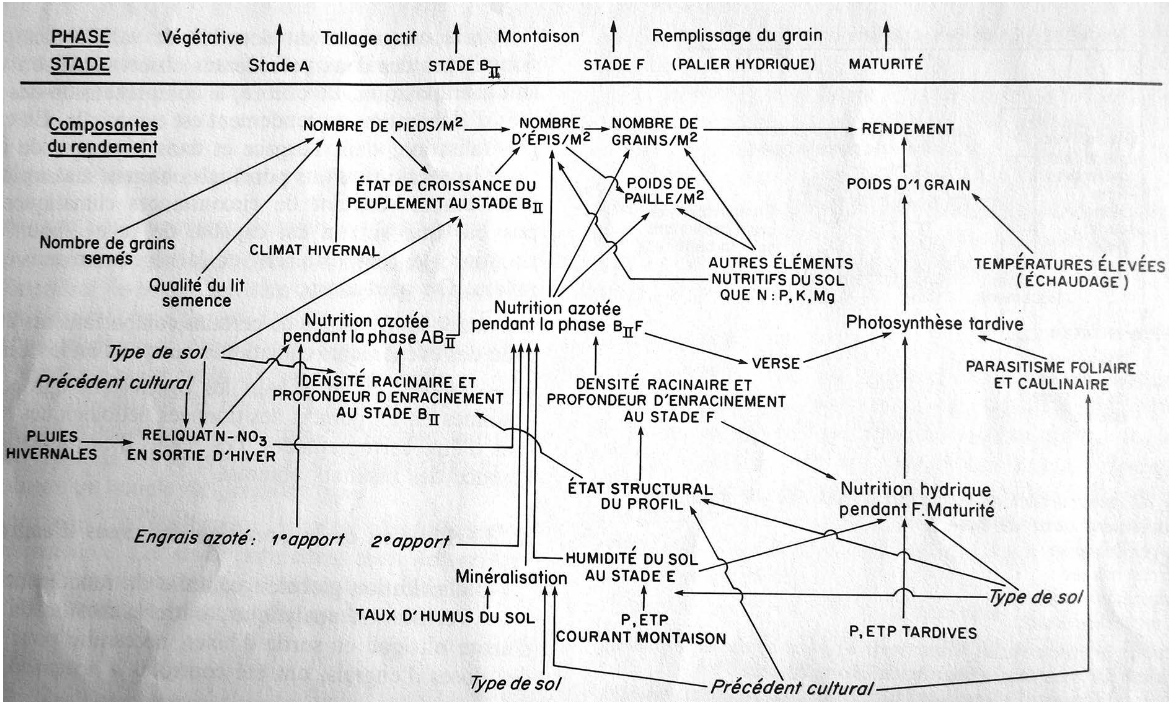


Figure 4.1. Schéma d'élaboration du rendement du blé (Boiffin *et al.*, 1981).

Le temps est découpé en phases du développement de la plante au cours desquelles sont élaborées les composantes du rendement. Le sens des flèches indique la façon dont ces dernières sont expliquées. En italique sont indiquées les données fixées au moment de l'installation de la culture et les modalités d'apport de l'azote et, en majuscules, les enregistrements et les observations réalisés sur les parcelles.

Plusieurs traits caractérisent cette conception du fonctionnement de la parcelle cultivée. D'abord, le sens des flèches indique que toutes les variables sont considérées comme devant expliquer le rendement. Ensuite, l'approche est cinétique, car le temps est pris en compte de manière discrète par le repérage des différents stades phénologiques (stade A, B_{II}, etc.) et par les décisions d'interventions techniques (1[er] et 2[e] apports d'engrais azoté). Des enregistrements et observations (dans le cas présent, le reliquat azoté en sortie d'hiver) permettent d'adapter la technique. D'autres (type de sol et précédent cultural, taux de matière organique du sol, pluies, températures, évapotranspiration potentielle, parasitisme, densité de plantes cultivées et profondeur d'enracinement à différents stades, etc.) servent à réaliser *ex post* un diagnostic sur les effets qu'ont les variables concernées sur les étapes successives de l'élaboration du rendement. Parmi les méthodes utilisées, l'examen du profil cultural occupe une grande place et permet de juger les effets du travail du sol.

Établies selon des méthodes empiriques, elles conduisent cependant à définir des seuils dont l'imprécision amène également à une surfertilisation en azote et en phosphore, dont il est prouvé désormais que, même minime, celle-ci provoque des dégâts importants sur les milieux aquatiques et l'effet de serre.

En appliquant au champ des connaissances de physique du sol établies en laboratoire, les agronomes étudient sur le profil cultural l'organisation spatiale des actions de fragmentation dues aux outils, et des actions de compactage dues aux passages de roues (chapitre 2, figure 2.2 a et b ; Manichon, 1982b ; Gautronneau et Manichon, 1987). Ils notent l'effet de ces organisations structurales sur l'enracinement (Tardieu et Manichon, 1987) ou sur la circulation de l'eau dans le sol (Papy, 1986). Ils modélisent au cours du temps, sous l'effet des opérations successives de travail du sol, l'évolution des éléments structuraux les plus compacts défavorables aux végétaux (Roger-Estrade *et al.*, 2004), ou encore, sous l'effet des pluies, la dégradation structurale à la surface du sol (Boiffin, 1984). Comme indiqué au chapitre 1, l'ensemble de ces travaux a largement contribué à comprendre et à modéliser les processus qui prévalent dans l'implantation des cultures (Boiffin *et al.*, 2020 ; Aubertot *et al.*, 2020) et dans le ruissellement érosif (Boiffin *et al.*, 1988).

Un autre exemple d'emprunt de concepts se situe dans le domaine de la consommation d'eau par les plantes et de la conduite de l'irrigation. Les agronomes se sont très tôt appuyés sur les concepts venant de la bioclimatologie, comme l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR), et des sciences du sol, comme la réserve utile. Ils ont ainsi quantifié les besoins en eau des cultures et analysé les réponses à l'irrigation en estimant l'efficience des apports d'eau calculés pour combler le déficit ETR/ETM (ETM : évapotranspiration maximale) (Marty *et al.*, 1975).

Si, au début des années 1980, les agronomes conservent une vision du milieu cultural très liée aux aspects physico-chimiques du sol et aux aspects physiques du climat, c'est qu'ils ont vu dans l'arrivée de pesticides sur le marché une opportunité de ne pas avoir à s'occuper de la lutte contre les bioagresseurs, excepté cependant pour les adventices qui pouvaient être partiellement détruites par des opérations de travail du sol. Ce n'est que plus tard qu'ils auront comme objectifs la réduction des pesticides. Et si, dès 1985, Meynard (1985) conçoit pour le blé des itinéraires techniques qui ne visent pas le rendement potentiel et permettent de réduire engrais et pesticides, ce n'est pas, au premier chef, pour réduire les effets environnementaux de ces intrants, c'est pour adapter la conduite du blé à la concurrence de la culture de betterave sucrière dans l'organisation du travail au sein de certaines exploitations. C'est, en définitive, pour donner à l'agriculteur les meilleures chances de fabriquer suffisamment tôt le lit de semences des betteraves.

Ainsi le concept d'agrosystème des agronomes, au début des années 1980, a prouvé ses capacités comme outil de diagnostic et de conception. Il lui manque cependant de considérer les rétroactions des plantes sur leur propre milieu de manière réellement dynamique. Pourtant, dans son article fondateur de 1974, Sebillotte avait écrit : « On pourrait alors être tenté de n'étudier, dans cet ensemble de relations [il s'agit de l'ensemble formé par la plante, le climat et le sol], le sol et le climat que vis-à-vis de leur action sur la plante cultivée. Or, précisément, à cause des interrelations entre la plante, le climat et le sol, on ne doit pas privilégier l'étude de ces relations dans le seul sens milieu-plante cultivée. » Malgré cette pensée prémonitoire, c'est pourtant bien ce

qu'ont fait pendant longtemps les agronomes. Il manque également aux agronomes les connaissances qui leur permettront d'envisager des voies biologiques de lutte contre les bioagresseurs des plantes cultivées. Ces vides vont être comblés par les apports d'autres disciplines.

Avec l'écophysiologie, mieux comprendre le fonctionnement du peuplement et les interactions plante-milieu : l'agroécosystème

L'apport de l'écophysiologie, qui a elle-même importé des concepts de l'écologie fonctionnelle, va radicalement modifier la conception des agronomes sur le fonctionnement de la parcelle cultivée. L'écologie fonctionnelle, telle qu'elle a été pratiquée au Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive du Centre national de la recherche scientifique (CEFE-CNRS) de Montpellier à la suite d'Eckart, a étudié initialement les interactions entre les plantes et leur milieu dans des formations végétales naturelles en l'absence de toute intervention humaine. Ainsi, introduisant dans leur conception l'idée qu'un couvert végétal fonctionne comme un écosystème indépendamment de toute action, les agronomes modifient leur conception du fonctionnement de la parcelle cultivée. Ils passent d'une conception où les techniques de culture agissent sur le milieu pour satisfaire aux besoins des cultures à une conception où ces techniques modifient ou perturbent une dynamique de fonctionnement faite d'interactions multiples entre le milieu et les plantes cultivées. Ainsi un écosystème piloté en fonction d'objectifs devient un agroécosystème, et la parcelle cultivée de l'agriculteur, d'agrosystème qu'elle était pour les agronomes, devient agroécosystème (encadré 4.1, figure 4.2b). Analysons comment cette nouvelle conception a été intégrée en agronomie.

Il n'est guère étonnant que l'écophysiologie ait été introduite par les agronomes des prairies. Celles-ci sont en effet des formations végétales peu soumises aux interventions culturales. Contrairement aux cultures annuelles, les prairies ont une croissance continue tout au long de l'année, et non pas avec un début et une fin de cycle sanctionnée par un rendement. Le concept même de rendement est donc inopérant. La productivité des prairies ne peut donc s'exprimer qu'en termes de vitesse de croissance, et les effets du milieu sur la production de fourrage doivent donc s'analyser de manière dynamique sur la modulation de cette vitesse. En prenant la vitesse de croissance comme objet d'étude en soi, les agronomes des prairies ont remplacé l'approche phasée de l'agrosystème par une approche dynamique par laquelle le temps intervient de manière continue, et non plus seulement sous forme de repère discret dans l'analyse des processus (Gillet *et al.*, 1984).

Dans cette optique dynamique, l'approche de type bilan et stock de la nutrition minérale n'est pas satisfaisante et doit être remplacée par une approche reliant la disponibilité instantanée des éléments, la capacité de prélèvement des plantes et de leur demande en éléments minéraux à la vitesse de croissance. La même approche dynamique est appliquée dans les travaux pionniers de bioclimatologie de l'Inra (Varlet-Grancher *et al.*, 1982) sur les processus de captation et de conversion de la lumière par les peuplements végétaux, qui sont essentiels comme outil d'analyse du fonctionnement des agroécosystèmes (Gosse *et al.*, 1984). Il est ainsi possible de réunir dans un même cadre conceptuel et fonctionnel la nutrition en carbone et la nutrition en azote et de renouveler les principes de la fertilisation azotée (Lemaire, 1997). Pour toute culture, il est possible de déterminer un indice de nutrition azotée en référence à une courbe de

teneur critique en azote de la plante en fonction de la biomasse de la culture (Lemaire et Meynard, 1997). Le concept de courbe de dilution a été, plus tard, étendu aux autres éléments tels que le phosphore, le potassium et le soufre (Lemaire *et al.*, 2019b). Ainsi, la plante est elle-même un acteur essentiel de la disponibilité des éléments minéraux dans le sol. L'utilisation des relations d'allométrie entre la croissance des plantes et leurs prélèvements d'éléments minéraux, largement inspirée par les approches de l'écologie fonctionnelle, permet de rendre compte de la rétrorégulation essentielle de la nutrition minérale des plantes et des interactions (synergies et antagonismes) entre éléments (Briat *et al.*, 2020). Cette nouvelle conception du fonctionnement de la parcelle cultivée amène à reconsidérer les méthodes de conduite de la fertilisation pour l'azote (Ravier *et al.*, 2018).

La charte de l'écophysiologie, signée en 1990 entre les départements de bioclimatologie et d'agronomie de l'Inra (chapitre 6), a donné aux diagnostics agronomiques basés sur les analyses des composantes du rendement des cultures un cadre plus fonctionnel. Ainsi, ces composantes du rendement peuvent prendre en compte la dynamique des processus morphogénétiques et des processus d'acquisition et du partage des ressources en carbone et en azote au sein de la plante. Ce couplage entre l'acquisition des ressources (photosynthèse et absorption minérale) et leur utilisation dans les méristèmes pour la croissance a été à la base de l'approche de modélisation (Bonhomme *et al.*, 1995) qui a permis aux agronomes d'accéder à la simulation des effets de pratiques culturales sur les performances des cultures à travers l'élaboration d'outils comme Stics (Brisson *et al.*, 1998). Ces formalismes avaient déjà été établis aux États-Unis dans l'orbite de la *crop physiology*, discipline sœur de l'écophysiologie dans le monde anglo-saxon bien que moins tournée justement vers les rétroactions plante-peuplement-milieu.

En considérant le peuplement végétal comme une entité fonctionnelle échangeant des flux de matière et d'énergie avec le sol et l'atmosphère, l'écophysiologie a permis de séparer l'efficacité de l'acquisition des ressources (lumière, carbone, azote, phosphore, minéraux, eau, etc.) de celle de la conversion de ces ressources en production récoltable. Il en est ressorti que les efficiences de conversion (qu'il s'agisse de celle du rayonnement, de l'azote et même de l'eau) s'avèrent assez peu variables entre espèces et génotypes, alors que les efficiences de captation, aussi bien pour la lumière, pour les éléments minéraux que pour l'eau, sont beaucoup plus sensibles à la variabilité génétique. De la même manière, pour améliorer les rendements, les interventions culturales sur les parcelles doivent avant tout permettre aux plantes de mieux capter les ressources dans l'atmosphère et dans le sol.

En interaction avec la bioclimatologie, l'écophysiologie a étudié les échanges de matière et d'énergie, au sein et à proximité des peuplements, dans la zone appelée « couche limite » : c'est-à-dire l'extinction de la lumière et la modification de sa qualité, les gradients thermiques et de concentration en CO_2 et les échanges de chaleur latente (encadré 4.1, figure 4.2b). Ces échanges modifient le milieu réellement perçu par les différents organes de la plante. Ils induisent des réponses adaptatives des plantes à ces modifications qui ont permis, enfin, de coupler la nutrition carbonée et la nutrition azotée dans un même formalisme. L'analyse des effets directs du milieu sur les plantes et des rétroactions que ces effets produisent sur leurs propres causes permet donc de considérer la culture comme un ensemble de plantes, interagissant les unes avec les

autres par des modifications locales de leur milieu. En établissant ainsi des relations de hiérarchie pour l'acquisition des ressources (Lemaire et Millard, 1999), une deuxième génération de modèles dits « architecturaux » (Moulia *et al.*, 2000) fait progresser les connaissances sur le fonctionnement des cultures plurispécifiques et plurivariétales.

Dans le sol, la captation des ressources par les plantes a été abordée plus tard. Ceci est dû aux difficultés inhérentes à l'observation et à l'étude des systèmes racinaires, et au fait que pour l'étude de la biologie du sol on a longtemps manqué d'outils d'analyse performants de la diversité des organismes souterrains. Mais des avancées significatives sont réalisées dans les régions d'outre-mer sur les plantes pérennes comme le palmier, le caféier ou le cocotier, avec des approches innovantes sur le plan expérimental et théorique, basées sur des représentations en 3D, qui permettront de nouvelles approches pour comprendre le développement racinaire et le représenter.

À partir des années 1980-1990, en s'enrichissant de connaissances sur la biologie des sols, la discipline de l'écophysiologie prend en compte le rôle de la flore et de la faune du sol en interaction avec les racines dans ce qu'on appelle la rhizosphère. Ceci permet de comprendre la dynamique de disponibilité et de prélèvement des éléments minéraux par les plantes (encadré 4.1, figure 4.2b ; voir la synthèse de Recous *et al.*, 2019). Les végétaux diffèrent dans leur aptitude à sélectionner des communautés microbiennes dont deux sont impliquées dans des symbioses majeures : la symbiose fixatrice d'azote, qui concerne principalement les légumineuses et permet de réduire (voire de supprimer) le recours aux engrais azotés, et la symbiose mycorhizienne, qui confère à la majorité des espèces cultivées une meilleure capacité à prélever le phosphore du sol, économisant ainsi une ressource non renouvelable (Hinsinger *et al.*, 2019a). Le rôle de ces symbioses, longtemps sous-estimées ou oubliées, fait maintenant l'objet de collaborations interdisciplinaires entre agronomes et microbiologistes.

Aux interfaces avec l'atmosphère et le sol, les concepts de couche limite et de rhizosphère traduisent l'idée que la végétation modifie son propre milieu. Ces rétroactions des plantes sur leur propre milieu donnent à la parcelle cultivée ses propriétés systémiques émergentes d'autorégulation, d'autoadaptation et d'autoévolution (encadré 4.1, figure 4.2b). Sur cette parcelle cultivée, conçue, grâce à des apports venant d'autres disciplines, comme un écosystème, les agronomes raisonnent désormais les interventions culturales comme des perturbations d'un fonctionnement général intégré, et non plus seulement comme des modifications du milieu aux limites externes du système. La parcelle peut donc être désormais considérée pour les agronomes comme un « agroécosystème ».

Avec l'écologie fonctionnelle, comprendre comment réguler les bioagresseurs, préserver et cultiver la biodiversité : l'agroécosystème (suite)

Au début des années 1990, les impacts des pesticides sur l'environnement et la santé humaine commencent à être reconnus et deviennent une préoccupation importante. Au cours de cette période, les agronomes mettent déjà au point des itinéraires techniques et des systèmes de culture qui limitent les fuites d'azote nitrique et réduisent les résidus de pesticides vers les sols, les eaux et les produits végétaux. Des recherches se généralisent à travers des « essais systèmes » où sont testées des règles d'action par

rapport à plusieurs objectifs explicités (Meynard et Girardin, 1991). Mais ce sont là essentiellement des recherches de combinaisons techniques. Alors qu'en France, les entomologistes de l'Inra ont été, dès les années 1960, parmi les fondateurs de la lutte intégrée – méthode qui associe lutte biologique et lutte chimique afin de faire jouer au mieux les régulations biologiques –, les agronomes n'ont alors pas su voir l'intérêt de leurs travaux (Lescourret *et al.*, 2019). L'interaction entre les disciplines de l'agronomie et de l'écologie fonctionnelle des populations n'est pas encore lancée. Un saut conceptuel sera fait à travers l'émergence et la valorisation du concept de biodiversité. À l'Inra, en 1998, l'agronomie, l'écophysiologie et la bioclimatologie (réunies dans le département Environnement et agronomie), et la phytopathologie, l'entomologie et la malherbologie (département Santé des plantes et environnement) sont appelées à collaborer (Lescourret *et al.*, 2019 ; chapitre 6). Il faut dire que l'émergence des idées autour de l'agroécologie et de la biodiversité bouleverse certaines visions.

Encadré 4.1. Un changement de paradigme : de l'agrosystème à l'agroécosystème

À partir d'un paradigme initial basé sur l'analyse de la cohérence des actes techniques mis en œuvre par l'agriculteur et de la réponse des cultures aux modifications du milieu qu'ils induisent en fonction d'un unique objectif de rendement (figure 4.2a), l'agronomie a effectué deux mutations importantes grâce à l'interdisciplinarité :
– la prise en compte, avec l'appui des disciplines de l'écologie fonctionnelle, des multiples rétroactions des plantes sur leur milieu, qui confèrent aux peuplements cultivés des propriétés autoévolutives et autoadaptatives similaires à celles des écosystèmes naturels. Les actes techniques deviennent alors des perturbations pilotées par l'agrosystème, ce qui aboutit à la notion d'agroécosystème (figure 4.2b) ;
– la multiplication et l'élargissement des objectifs aux problématiques de l'environnement et de la biodiversité, qui ont nécessité un changement d'échelle spatio-temporelle et de niveaux d'organisation impliquant des collaborations plus larges avec les disciplines de l'environnement physique et biologique (figure 4.2c).

■ D'une approche linéaire initiale…

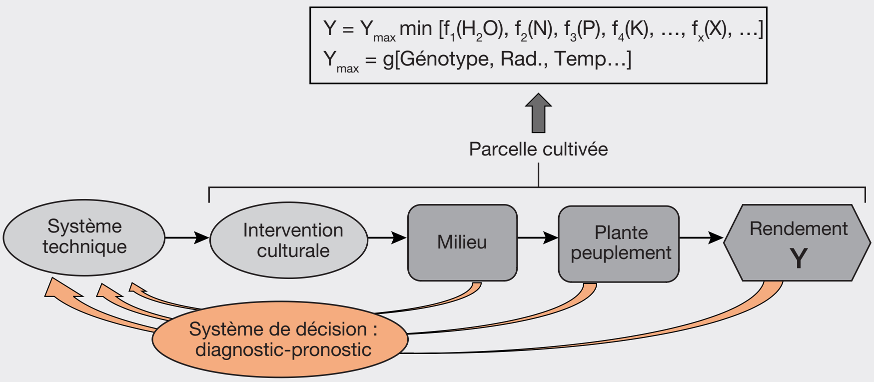


Figure 4.2a. Représentation de l'approche initiale de l'agronomie.

Encadré 4.1. Un changement de paradigme : de l'agrosystème à l'agroécosystème (suite)

Cette analyse s'effectue à l'échelle de la parcelle cultivée, même si le système technique qui traduit la cohérence des interventions culturales est déterminé à des niveaux plus englobants (exploitation agricole). Le rendement d'une culture (Y), dans un milieu donné, résulte d'un potentiel (Y_{max}) dépendant essentiellement de la génétique et de variables non modifiables du milieu (température, rayonnement, etc.), et de facteurs limitants successifs (contraintes physiques du sol, éléments nutritifs, excès ou manque d'eau, maladies, ravageurs, etc.) qu'il convenait donc de supprimer grâce à des interventions techniques mobilisant les intrants correspondants (mécanisation et travail du sol, drainage, fertilisation, irrigation, pesticides, etc.). Le caractère systémique (agrosystème) de cette approche concerne la réflexivité de l'analyse qui, grâce à un système de décision basé sur des diagnostics d'état des cultures et des pronostics de réponses, permettait une autoadaptation de l'action de l'agriculteur à des contextes et à des conditions sans cesse changeants.

■ … À une approche écosystémique, à l'échelle de la parcelle…

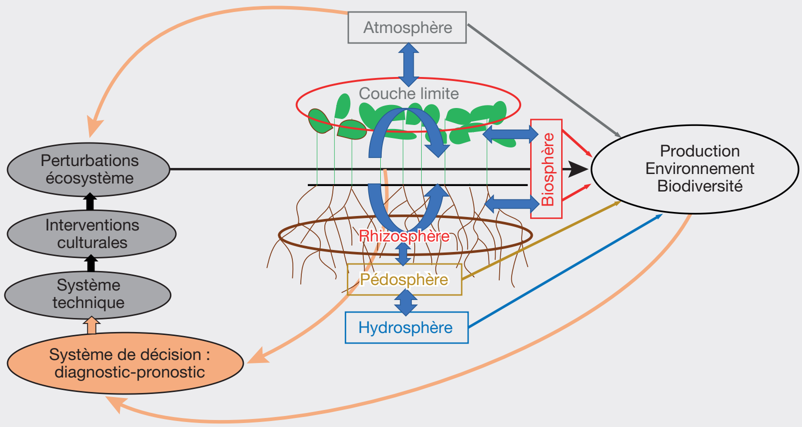


Figure 4.2b. Représentation du fonctionnement d'un peuplement cultivé.

La prise en compte explicite des nombreux processus de rétroaction des plantes sur leur milieu physique et biologique permet d'identifier des entités fonctionnelles comme la couche limite au niveau aérien ou la rhizosphère au niveau souterrain, qui deviennent de véritables interfaces au sein desquelles sont régulés les échanges entre les divers composants d'un peuplement cultivé, désormais pleinement considéré comme un véritable écosystème dont le fonctionnement global peut alors être analysé en fonction d'objectifs plus divers que le seul rendement. Les interventions culturales sont ici considérées comme des perturbations appliquées à l'ensemble de l'écosystème dont les bases de fonctionnement sont identiques à celles des écosystèmes naturels. Comme dans l'approche précédente (figure 4.1), la spécificité de l'agronomie revient à relier ces interventions culturales à l'agrosystème par l'intermédiaire du système de décision en fonction des outils de diagnostic et de pronostic qui en permettent le pilotage. Ainsi, cette nouvelle approche est doublement systémique : au niveau de l'agrosystème et au niveau de l'écosystème, ce qui permet de définir un agroécosystème.

■ **... Puis à celle du territoire**

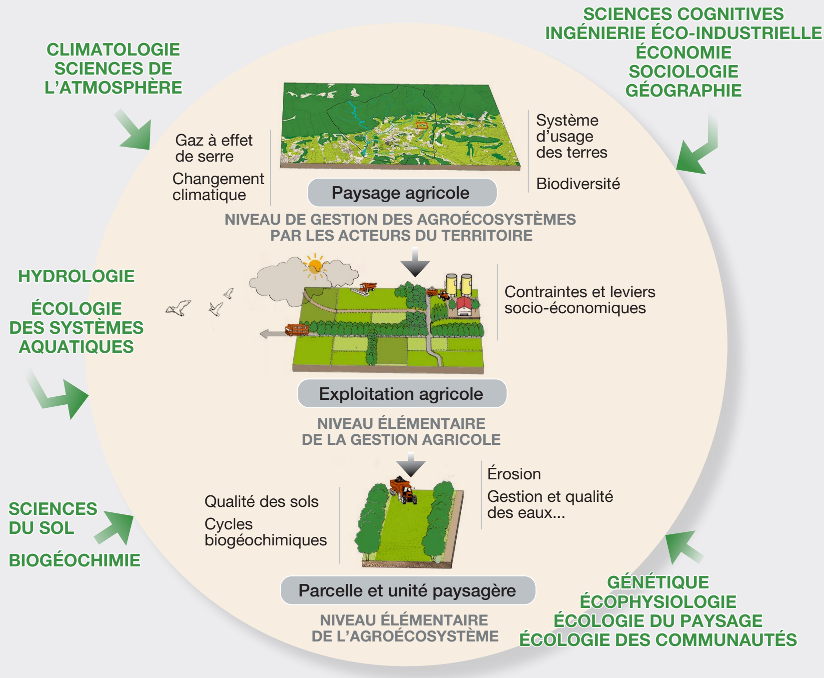


Figure 4.2c. Une agronomie des territoires... vers la transdisciplinarité.

Le territoire agricole est considéré comme un réseau d'agrosystèmes devant être gérés de manière coordonnée pour mettre en relation les différents écosystèmes constitutifs, afin d'optimiser un certain nombre de fonctions à des échelles englobantes, compte tenu de contraintes locales naturelles ou humaines.

Cependant, petit à petit, les agronomes utilisent des concepts venus de l'écologie (Lescourret, 2012), par exemple celui de niche trophique pour concevoir un mode de régulation des bioagresseurs par des plantes de couverture, ou celui de trait fonctionnel pour concevoir des communautés de plantes complémentaires et résilientes (Malézieux *et al.*, 2009; Malézieux, 2012). C'est donc aux alentours des années 2000 que les centres d'intérêt des agronomes vont progressivement, mais profondément, évoluer vers la prise en compte explicite des régulations biologiques dans les agrosystèmes, régulations qui incluent bien sûr les interactions avec les bioagresseurs, autrefois apanage exclusif des disciplines de la protection des plantes.

Se multiplient alors des études sur les interactions entre espèces cultivées, bioagresseurs et auxiliaires, et entre adventices et plantes cultivées, permettant de proposer des méthodes de lutte (Lavigne *et al.*, 2011). Ces évolutions sont révélatrices des évolutions qui marquent l'influence des approches et des démarches de l'agroécologie, formalisée par Altieri (1987; 1989), sur l'agronomie (Doré *et al.*, 2011b). Ces nouveaux

processus nécessitent de prendre en compte de nouvelles échelles. Certes, la régulation des adventices ou encore celle des champignons pathogènes telluriques, qui ne se dispersent que sur de faibles distances, relève principalement d'un fonctionnement de l'agroécosystème à l'échelle parcellaire. Pour lutter contre les adventices, les agronomes savent, depuis les avancées faites en écophysiologie sur les peuplements complexes plurispécifiques, que les adventices ne deviennent un problème qu'à partir du moment où elles entrent en compétition pour la lumière avec les espèces cultivées. Leur consommation des autres ressources (eau, azote et minéraux) est totalement inféodée à leur accès à la lumière (Perthame *et al.*, 2020). À part certaines espèces nocives pour l'homme (datura, ambroisie), il ne s'agit donc plus d'éliminer totalement les adventices des parcelles, mais de connaître la tolérance des plantes cultivées à leur présence. La lutte contre les champignons pathogènes telluriques demande une étude de la concordance entre le cycle des parasites et celui des plantes cultivées, par une collaboration avec la phytopathologie. Se poursuivent alors des recherches sur des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants utilisant des variétés multirésistantes et des successions de cultures diversifiées (Meynard *et al.*, 2003; Loyce *et al.*, 2011).

Mais la production agricole dépend aussi de populations mobiles, comme les pollinisateurs, ou encore de bioagresseurs qui peuvent se disperser à distance et être régulés par des auxiliaires. Toutes ces populations en cause sont liées à l'organisation spatiale du paysage (chapitre 3, figure 3.4). Il a fallu un certain temps aux écologues pour reconnaître que la mosaïque des parcelles participait à la continuité écologique, eux qui, au début, n'imaginaient cette continuité que dans le réseau des formations seminaturelles (Aviron *et al.*, 2019). Désormais, c'est sur l'ensemble des unités paysagères qu'agronomes et écologues étudient les cycles de vie des bioagresseurs et des auxiliaires en relation avec le peuplement cultivé. Ces unités ne sont plus vues comme résultant de l'activité productrice, ainsi que les avaient tout d'abord définies Deffontaines, mais bien construites à dessein pour préserver la biodiversité et entretenir les auxiliaires des cultures (Médiène *et al.*, 2011; chapitre 1, figure 1.3). Elles sont constituées non seulement d'une diversité de cultures sur des parcelles pas trop grandes pour permettre les déplacements alimentaires d'auxiliaires, mais aussi d'éléments semi-cultivés (arbres, haies, fossés) pour leur servir d'habitats (Burel, 2017). C'est donc, en définitive, à l'échelle du paysage qu'il faut définir l'agroécosystème et mettre en œuvre les stratégies de protection intégrée des cultures.

Ainsi, pour réduire au maximum l'usage des pesticides jusqu'à ne les utiliser qu'en dernier recours, on doit concevoir des agroécosystèmes qui favorisent l'abondance et la diversité des ennemis naturels des bioagresseurs. Comme le soulignent les entomologistes Deguine et Ratnadass (2016), les stratégies de protection agroécologiques des cultures visent à établir des équilibres bioécologiques entre communautés animales et végétales dans le but de prévenir les risques d'infestation de bioagresseurs des cultures. La finalité n'est pas tant, précisent ces auteurs, de concevoir des techniques ayant un objectif spécifique de protection des cultures que de piloter l'agroécosystème grâce à l'ensemble des techniques de travail du sol, de succession des cultures, de date et de densité des semis, de fertilisation, de couverture végétale du sol, etc., mais aussi de dimension des parcelles et d'entités semi-cultivées, comme les haies, les bordures de champs et de chemins. À travers ces travaux, en s'appuyant sur les concepts de l'écologie fonctionnelle, l'agronomie et l'entomologie connaissent d'importantes avancées conceptuelles qui servent de base à la conception de nouveaux systèmes.

C'est aussi dans cet esprit que collaborent agronomes et écologues en associant les principes de l'écologie du paysage (Burel et Baudry, 1999) au pilotage des systèmes de culture et des espaces agricoles. Avant de se généraliser, cette collaboration avait débuté, dès 1993, à Rennes, au département Système agraire et développement de l'Inra, par la comparaison fonctionnelle de trois unités agrophysionomiques se distinguant par la densité du bocage. Les interactions entre activités agricoles et biodiversité y ont été analysées (Baudry *et al.*, 2000). À partir de nombreux dispositifs de ce genre, véritables expérimentations de systèmes conçues à l'échelle du paysage, cette collaboration se poursuit. L'ouvrage *Paysage, biodiversité fonctionnelle et santé des plantes* (Petit et Lavigne, 2019) présente une synthèse de la réponse des bioagresseurs, auxiliaires et pollinisateurs à l'organisation spatiale et temporelle des paysages. Face à la diversité des contextes d'action et à la complexité du pilotage des équilibres bioécologiques, la protection agroécologique des cultures met les agronomes au défi de concevoir des solutions plurielles adaptées localement (Meynard et Jeuffroy, 2021).

Au-delà de la simple préoccupation de protection des cultures, les interactions biotiques et les régulations biologiques peuvent être valorisées par la conduite d'agroécosystèmes complexes composés de plusieurs espèces (Malézieux *et al.*, 2009). Il est ainsi possible de tirer profit de la complémentarité des caractéristiques adaptatives et fonctionnelles des différentes espèces cultivées ensemble. La place de l'arbre dans les agroécosystèmes devient de plus en plus reconnue. Et plus la biodiversité cultivée intentionnellement est complexe, plus la biodiversité associée est forte. Mais passer d'un système composé du meilleur génotype dans le meilleur environnement possible à un système composé de la meilleure complémentarité de gamme dans un environnement hétérogène et peu prévisible constitue un changement de paradigme profond qui nécessite l'apport de connaissances génériques construites à partir de situations pionnières (Reboud et Malézieux, 2015).

Avec la génétique, de nouvelles relations interdisciplinaires

Le choix variétal ne peut être séparé de la conduite des cultures. À la sortie de la Seconde Guerre mondiale, le progrès génétique a été considéré comme le moteur du développement de l'agriculture. L'avancée génétique a ainsi consisté à créer des variétés dont la courbe de réponse aux apports d'engrais, notamment d'azote, ne fléchit qu'à des doses trois à quatre fois supérieures à celles obtenues pour des variétés traditionnelles. Cette stratégie a été adoptée dans le monde entier, dans les pays du Nord comme du Sud, dans l'élan de la Révolution verte, avec l'appui de toutes les organisations internationales. L'agronomie, avons-nous dit, mais aussi les disciplines liées à la santé des plantes devaient étudier comment artificialiser le milieu pour permettre l'expression du potentiel génétique. Ce ne sont pas les variétés, sélectionnées pour de hauts rendements potentiels, qui sont directement responsables des nuisances sur l'environnement, mais les systèmes de culture conçus pour exprimer ce potentiel. Dès lors que, pour préserver l'environnement, la recherche agronomique focalise ses priorités sur la conception de systèmes économes en intrants et basés sur les régulations écologiques offertes par des systèmes plus complexes, il faut repenser l'amélioration variétale.

Le rendement d'une plante dépend de trois propriétés des peuplements cultivés : la capacité à capturer dans le milieu les ressources nécessaires à la croissance des plantes (lumière, eau, azote, minéraux) – c'est l'efficience de captation – ; la capacité à convertir

ces ressources captées en biomasse végétale – c'est l'efficience de conversion –; la capacité à affecter la biomasse élaborée à la formation des organes récoltés (grains ou tubercules) – c'est l'indice de récolte. Or l'efficience de conversion de l'énergie captée en biomasse a très peu évolué au cours de l'histoire de la sélection végétale (Gosse *et al.*, 1986). Le progrès génétique a été essentiellement dû à l'amélioration de l'efficience de captation de la ressource « lumière » grâce à la rapidité de mise en place des surfaces foliaires. De même, l'efficience de conversion de l'azote absorbé en biomasse est restée très stable dans l'histoire de l'amélioration des plantes, alors qu'il existe une grande variabilité encore mal explorée de l'aptitude des plantes à prélever l'azote du sol même dans un environnement pauvre en azote (Lemaire et Gastal, 2008). De manière similaire pour la ressource en eau, on trouve plus de variabilité inter et intraspécifique dans la capacité de la plante à extraire de l'eau de l'ensemble des horizons du sol, et donc à échapper à la sécheresse, que dans sa capacité à produire une quantité de biomasse donnée avec une quantité d'eau transpirée donnée (efficience de l'eau). Par conséquent, les efficiences de conversion des ressources (photosynthèse, azote, eau, etc.) n'ont pratiquement pas été augmentées par la sélection. Seuls les indices de récolte (*harvest index*) l'ont été. Et tant que le progrès génétique s'est accompagné d'une augmentation concomitante de la disponibilité des ressources (en particulier azote et eau) grâce aux apports d'intrants, la capacité des génotypes à prélever efficacement leurs ressources dans leur milieu n'a pas été priorisée par les sélectionneurs.

Le progrès génétique doit désormais changer d'orientation. Il consiste à sélectionner des génotypes capables de mieux capter les ressources du milieu lorsque celles-ci sont limitantes et de mieux résister aux stress abiotiques, aux maladies et à la compétition des adventices (Meynard et Jeuffroy, 2002), voire des autres espèces cultivées en association. Ainsi sont recherchées des variétés peu exigeantes en azote du fait de leur plus grande efficacité d'absorption du système racinaire, mais aussi tolérantes aux stress hydriques par une réduction de la transpiration et une augmentation du prélèvement d'eau par expansion racinaire (Tardieu, 1996). Sont également recherchées des variétés multirésistantes aux maladies qui, malgré leur plus faible potentiel de rendement, peuvent être avantageusement cultivées avec des densités de peuplement plus faibles et des doses de fertilisation azotée réduites (Loyce *et al.*, 2001).

Ainsi, le choix variétal doit répondre à des objectifs multiples, parfois contradictoires, et, dans tous les cas, de plus en plus variés. Par ailleurs, la volonté de diversifier les cultures conduit les agronomes à s'intéresser à des espèces dont l'amélioration génétique a été délaissée et qui doivent s'intégrer dans des systèmes de culture. Pour ces raisons se sont multipliées des recherches portant sur le choix d'idéotypes variétaux associés à des itinéraires techniques dans un milieu donné. Debaeke *et al.* (2014) donnent un exemple de conception d'idéotype pour le pois d'hiver qui combine des connaissances de la génétique, de l'écophysiologie, de l'agronomie et de la pathologie avec des avis d'experts.

Enfin, une autre voie de collaboration entre généticiens et agronomes est à ouvrir. Plutôt que de mettre tous les gènes d'intérêt au sein d'une même plante, elle consiste à introduire les gènes favorables au sein d'une même population de plantes génétiquement hétérogènes. Vidal *et al.* (2014) montrent qu'une association bien choisie de variétés d'une même espèce permet de réguler les maladies et de stabiliser la production. Au-delà, la combinaison d'espèces dans un même système (en association sous diverses formes), y compris certaines espèces ligneuses et pérennes (agroforesterie),

conduit à rechercher de nouvelles propriétés chez les cultivars (meilleure tolérance à l'ombre, exploration d'horizons du sol différents, etc.) (Montazeaud *et al.*, 2018). Ainsi, allant plus loin, des programmes de recherche entre génétique des populations, écophysiologie et agronomie sont entrepris, dans des démarches de sélection participative, tout particulièrement dans les pays du Sud, autour de l'intérêt et de l'amélioration de « variétés populations » (Vom Broke *et al.*, 2010).

Avec la zootechnie, des relations interdisciplinaires entérinant la dissociation entre culture et élevage

Nous avons vu que les agronomes des prairies et du pâturage ont joué un rôle important dans l'introduction de l'écophysiologie dans le corpus théorique de l'agronomie. Inversement, les concepts d'itinéraire technique et de système de culture ont servi à concevoir ceux de système de pâturage, de système fourrager et de système d'élevage, tout particulièrement au sein du département Système agraire et développement de l'Inra, réunissant zootechniciens et agronomes des prairies. Mais, dans la réalité, par la force des choix politiques (accords commerciaux internationaux) et de la recherche d'efficacité immédiate (augmentation rapide de la production), les mondes du « végétal » et de l'« animal » ont continué à se disjoindre et à se compartimenter en filières par espèce.

L'expansion du maïs comme ressource fourragère, commencée dès les années 1970-1980, a joué un rôle déterminant dans cette évolution. Pour produire du lait ou de la viande, il a été associé à des importations massives de tourteaux de soja à bas prix. Il a pris la place de l'herbe, et l'insertion des prairies dans les rotations céréalières comme source de fertilité des sols et de contrôle des adventices, maladies et ravageurs, théorisée dans le *ley-farming*, est rapidement devenue une thématique obsolète. Pour l'agronome, le maïs fourrage est devenu une culture identique au maïs grain, qu'il s'agissait alors d'intégrer au système de culture annuel, indépendamment de son usage ultérieur.

La dichotomie entre agronomie et zootechnie est donc liée à une sectorisation générale des filières d'une agriculture essentiellement productive. Mais les problématiques environnementales et alimentaires qui s'imposent aujourd'hui remettent en exergue des concepts et des approches systémiques qui étaient autrefois la base de l'agriculture. Il ne s'agit plus d'une simple interdisciplinarité impliquant des échanges de connaissances et de méthodes entre disciplines végétales et animales, mais bien de la mise en place d'actions de recherche et de développement résolument transdisciplinaires.

Avec les sciences de l'environnement, les sciences animales et de l'alimentation, proposer des agroécosystèmes innovants

À partir des années 1980, de façon tout à fait progressive au cours du temps, nous avons vu au chapitre 3 que les agronomes ont pris de plus en plus en compte l'environnement, devenu une préoccupation majeure pour la société. La question revêt plusieurs aspects : pollutions azotées, diffusion des pesticides dans l'eau, l'air, le sol, résidus de pesticides dans les produits agricoles, pollution de l'eau par les particules de terre, les microbes, impacts sur la biodiversité, émissions de gaz à effet de serre, etc. La prise en compte des impacts négatifs s'intensifie. Les agronomes collaborent alors, dans des démarches transdisciplinaires, avec plusieurs disciplines pour comprendre et atténuer les différents impacts de l'agriculture, dans différents contextes, d'abord sur l'environnement

puis, depuis les années 2010, sur la santé, à travers l'alimentation principalement. Ils s'engagent alors dans la mise au point de nouvelles méthodes d'évaluation multicritère des formes d'agriculture, pour concevoir des agroécosystèmes adaptés à différentes situations et à différents objectifs. Cet élargissement devrait s'amplifier pour contribuer à l'adaptation de l'agriculture au changement global, c'est-à-dire au dérèglement climatique, aux cycles planétaires de l'eau, de l'azote et du phosphore, à la diminution globale de la biodiversité, à l'apparition de pollutions globales, ainsi qu'au changement d'occupation des sols à grande échelle en relation avec l'accroissement de la population mondiale. Dans ces changements, l'élevage occupe une place centrale par l'importance des ressources mobilisées (surface, énergie) et des impacts générés. À cet égard, la question des modalités d'élaboration de la biomasse végétale (combien, comment et où ?) et de ses utilisations (*food, feed, fuel, fibre and fertility*, « denrées alimentaires, aliments pour animaux, combustibles, fibres et fertilité ») est devenue essentielle, et pour cela les agronomes doivent travailler en transdisciplinarité.

Avec les sciences de l'environnement

Avec l'hydrogéologie, la géomorphologie, la biogéochimie et la science du sol, les agronomes ont cherché, aidés de modélisations, à reproduire les flux hydriques de surface ou de profondeur, au sein de bassins-versants et d'aquifères, qui créent des processus érosifs et contribuent à des pollutions multiples de la ressource en eau : pollution par les nitrates, les pesticides, les particules terreuses, les microbes, etc. Dans ces entités géomorphologiques, ils ont pu ainsi repérer différentes zones fonctionnelles justifiant des traitements spécifiques. C'est ainsi que, tenant compte de la différence de risques de lixivation de l'azote hors de portée des racines entre les zones d'un aquifère, Sebillotte et Meynard (1990) préconisent des itinéraires techniques adaptés aux potentialités locales et, dans les exploitations d'élevage, une meilleure gestion des effluents et des prairies. C'est ainsi également que, croisant la modélisation du processus érosif et des systèmes de culture au sein des exploitations, Joannon (2004) étudie les possibilités d'organiser les systèmes de culture dans l'espace pour réduire l'érosion (figure 4.2c, encadré 4.1).

Bien que des chercheurs en écotoxicologie aient montré, dès les années 1970, les impacts des pesticides sur les écosystèmes (Pesson, 1976), les agronomes ont tardé à prendre en charge cette question. Cependant, dès qu'elle a pris plus d'ampleur, c'est bien sûr avec des écotoxicologues qu'ils cherchent à construire, à la fin du siècle dernier, des indicateurs de risques liés à l'usage des pesticides (Devilliers *et al.*, 2005).

Qu'il s'agisse des teneurs en nitrate ou en pesticides, l'enjeu de préservation de la qualité de l'eau devenant important, c'est toute la réorganisation de l'espace qu'il faut considérer. À cet égard, l'exemple des sources de Vittel est emblématique, puisque la réorganisation de l'entreprise est allée jusqu'à un réagencement des bâtiments, des prairies et des cultures (Deffontaines et Brossier, 1997). Les approches spatiales de régulation des impacts de polluants sont multiples ; elles combinent de nouvelles méthodes de diagnostic ou de modélisation, comme c'est le cas pour l'épineux problème des pesticides aux Antilles (Mottes *et al.*, 2015 ; 2017).

Au fur et à mesure qu'ont émergé à la fin du XXe siècle les problèmes environnementaux liés aux échanges gazeux, la nature des relations entre l'agronomie et les sciences de la Terre (plus particulièrement celles du climat et du sol) s'est fortement transformée. Les sciences du climat ont commencé à mesurer les émissions gazeuses dues à

l'agriculture, tout d'abord pour estimer les pertes que ces émissions représentent dans le cycle de l'azote pour l'alimentation des plantes cultivées, puis pour estimer l'émission des gaz à effet de serre. Ainsi, dans les années 1990, les bioclimatologues de l'Inra mesurent les émissions d'ammoniac, particulièrement au moment des épandages de lisier, avec pour objectif d'en déduire les pertes pour la culture, signe que l'objectif premier est encore la production. À la même époque, les émissions de protoxyde d'azote étaient considérées comme un poste de perte négligeable dans le cycle de l'azote, au regard de la présence de nitrates dans l'eau, alors objet de préoccupation majeure. Et dans le sol, le carbone était essentiellement étudié par le rôle qu'il joue vis-à-vis de propriétés du sol comme la rétention en eau, la stabilité structurale, la vie microbienne, la fourniture d'éléments minéraux à la végétation.

La finalité environnementale s'affirmant, les sciences du sol, du climat et l'agronomie nouent de nouvelles relations pour étudier les multiples échanges gazeux au sein de l'ensemble sol-couvert végétal-atmosphère. Poursuivant leurs travaux réalisés sur l'ammoniac, les bioclimatologues mettent au point, à l'échelle de la parcelle, des instruments de mesure des émissions au niveau de la couche limite, puis des modèles de volatilisation et de transport aérien. À l'ammoniac, perçu désormais comme un polluant de l'air, viennent s'ajouter d'autres composés nocifs à la santé : oxydes d'azote, ozone, produits phytopharmaceutiques, composés organiques volatils, particules (Génermont *et al.*, 2019). Les modèles d'émission de transport et de dépôts de ces polluants sont mis au point à différentes échelles. Quant aux émissions de protoxyde d'azote, le regard des chercheurs change totalement lorsqu'on prend conscience de leur rôle sur l'effet de serre additionnel qui provoque le dérèglement climatique (Pellerin *et al.*, 2019b). À partir de l'année 2000, les efforts portent sur l'évaluation des émissions de protoxyde d'azote dans les parcelles et leur modélisation, ainsi que sur les émissions de méthane dans les élevages. Et dans le sol, le carbone est abordé pour son rôle dans l'atténuation du changement climatique dans la mesure où il peut être stocké (Arrouays *et al.*, 2002). Les potentiels de stockage du carbone dans les sols sont alors estimés.

Les impacts de ces différents échanges de gaz ne se manifestent pas tous aux mêmes échelles spatio-temporelles (chapitre 3). Les échanges de gaz à effet de serre se manifestent à l'échelle planétaire et sur de très longues durées, tandis que les autres émissions ont des effets plus locaux et pouvant être très brefs. Mais, pour les agronomes, c'est aux échelles locales qu'il faut réguler toutes les émissions, ainsi que le stockage du carbone dans les sols, en concevant de nouveaux agroécosystèmes visant de multiples objectifs.

Avec la zootechnie, reconstruire l'interface entre production végétale et animale

À partir des années 1990-2000, les problématiques d'environnement et de biodiversité ont fait émerger des interfaces interdisciplinaires indispensables à reconquérir.

L'interface herbe-animal au pâturage

La recherche d'une « agriculture plus économe et plus autonome »[5] a remis le pâturage de l'herbe au centre de la problématique de l'élevage des herbivores domestiques.

5. Pour reprendre le titre du rapport que Jacques Poly a écrit en 1978 (publication Inra, 65 p.).

La gestion du pâturage est devenue essentielle, alors que les études pionnières d'André Voisin des années 1950 avaient été sinon combattues, du moins largement occultées et oubliés dans le maelstrom de la mécanisation et de l'intensification des années 1970-1980. Les recherches sur l'interface herbe-animal au pâturage, liant l'écophysiologie des espèces prairiales et leurs propriétés autoadaptatives à la défoliation par l'animal, et le comportement alimentaire des herbivores à la structure du couvert végétal, ont été fortement développées par une étroite collaboration entre agronomie et zootechnie en France dans les années 1990-2000, prenant la suite du leadership de la recherche anglo-saxonne sur cette thématique. Ces analyses ont été réalisées aussi bien au niveau des processus élémentaires liant la morphogenèse des plantes et la dynamique de croissance des peuplements prairiaux que des processus de régulation de l'ingestion de l'herbe par l'animal, de son temps de pâturage, de la formation des bouchées pour la préhension de l'herbe, et de la structure, la composition et la qualité du bol alimentaire (Peyraud *et al.*, 1996). Ces études analytiques ont abouti, faisant suite aux travaux empiriques d'André Voisin, à de nouvelles règles de conduite du pâturage plus génériques et basées sur une meilleure connaissance de l'interaction herbe-animal permettant d'optimiser le prélèvement de la ressource ainsi que son renouvellement. De plus, ce cadre d'analyse a permis d'aborder, enfin, la diversité botanique des prairies et leur contribution générale à la biodiversité, de manière plus fonctionnelle que celle jusqu'ici mise en œuvre par les agronomes de la prairie par les méthodes purement descriptives de la phytosociologie (Garnier et Navas, 2011). Les traits fonctionnels des espèces prairiales, caractérisant leurs réponses aux facteurs du milieu et à l'action de défoliation de l'animal, et leurs effets sur la production et le comportement alimentaire de l'animal (Duru *et al.*, 2010) sont devenus ainsi un concept et un outil essentiel de l'écologie des prairies pâturées, englobant les points de vue de l'agronomie et de la zootechnie dans l'analyse de l'agroécosystème prairie.

Les légumineuses prairiales

La nécessité de réduire l'utilisation des engrais azotés de synthèse a fait prendre conscience aux agronomes et aux zootechniciens de l'intérêt de réhabiliter les mélanges prairiaux contenant des légumineuses, et notamment l'usage du trèfle blanc dans les prairies pâturées. Cet élan est parti de l'initiative d'éleveurs laitiers bretons (Pochon, 2008) en réaction au système maïs/ray-grass alors dominant, et a été relayé par les agronomes et les zootechniciens de Bretagne qui ont pu ainsi montrer qu'un système de production laitière « à l'herbe », suffisamment productif et respectueux de l'environnement, était possible. Cette collaboration est un exemple de transdisciplinarité réussie impliquant directement les acteurs, aussi bien les éleveurs laitiers que les responsables d'aménagement au niveau des territoires pour la reconquête de la qualité des eaux en Bretagne[6].

Les effluents d'élevage

La maîtrise des pollutions engendrées par la concentration territoriale d'élevages intensifs a fait prendre conscience à la fois aux agronomes et aux zootechniciens des différentes filières animales qu'il était indispensable de concevoir des systèmes d'élevage, de traitement et de recyclage des effluents impliquant une réutilisation agronomique des matières fertilisantes. Là encore, dès les années 2000, des actions

6. Ce système est resté à l'état de niche du fait de puissants verrous sociotechniques.

de recherches transdisciplinaires impliquant agronomie, zootechnie, hydrologie et bioclimatologie ont visé à réduire les émissions et à concevoir des systèmes moins générateurs de pollutions (Vertès *et al.*, 2019). Des démonstrations probantes ont pu être faites, mais, faute de pouvoir s'attaquer aux causes structurelles profondes liées à la concentration locale des élevages, ces connaissances et ces solutions restent encore peu mises en œuvre aujourd'hui.

Avec les disciplines de l'alimentation et de la santé, le concept de système alimentaire

Les nouvelles demandes sociétales invitent l'agronomie à élargir progressivement son champ d'activité, à prendre en compte de nouvelles questions de recherche et à proposer de nouvelles méthodes. Le concept de système alimentaire, considéré comme « la façon dont les hommes s'organisent pour produire, transformer, distribuer et consommer leur nourriture », est ainsi de plus en plus prégnant et offre de nouveaux défis à l'agronomie (Doré *et al.*, 2011a). Les systèmes alimentaires ont en effet beaucoup évolué durant les années 1970, notamment à la suite de changements technologiques majeurs qui ont permis d'accroître la productivité du sol et du travail, la transformation et la conservation des produits, leur emballage et leur distribution, etc. Mais de nouveaux modes d'intégration verticale et de régulation des échanges, ainsi que la montée en puissance des préoccupations environnementales, ont également eu une influence déterminante. De nouveaux styles de consommation émergent reliant davantage les préoccupations environnementales et sanitaires. La question des pesticides est en 2020 plus que jamais au cœur des questionnements. Mais, au-delà de ces questions, s'informant de l'ensemble des effets directs de l'alimentation sur la santé, les agronomes sont amenés à travailler de plus en plus avec des nutritionnistes et des médecins, ainsi que le montrent certaines initiatives comme la Key-initiative de l'université de Montpellier[7]. L'acte de produire, objet de l'agronome, doit désormais s'intégrer dans la vaste entité que constitue le système alimentaire.

Rassembler enjeux environnementaux et alimentaires

Devant la complexité des problèmes visant à intégrer des enjeux environnementaux et alimentaires, deux pistes s'ouvrent pour concevoir de nouveaux systèmes agricoles.

Primo, face à des objectifs multiples, il importe d'analyser à la fois les antagonismes et les synergies. Réduire les premiers, développer les secondes, voilà la voie à suivre. C'est ce qu'ont déjà entrepris les agronomes, entre les objectifs de production élevée et la préservation de l'environnement, en intégrant dans la conception des systèmes techniques les connaissances issues de l'écologie sur la fonctionnalité du vivant dans sa diversité. En ont résulté des principes d'agroécologie : diversification des cultures (par l'agroforesterie, les rotations, l'introduction de plantes de service, etc.), entretien d'espaces semi-naturels, réduction (pouvant aller jusqu'à la suppression) de l'emploi des pesticides et des engrais azotés de synthèse, réduction du travail du sol, complémentarité des cultures et de l'élevage, etc. Sans doute existe-t-il toujours des antagonismes à repérer entre la qualité des produits et la préservation de l'environnement, par exemple entre travail du sol

7. https://muse.edu.umontpellier.fr/key-initiatives-muse/foodhealth/

sans apport de pesticides de synthèse, en agriculture biologique, et utilisation de pesticides sans travail du sol, en agriculture de conservation. De façon générale, l'analyse des exigences sanitaires des systèmes alimentaires a plutôt fait ressortir des synergies entre le souhait de produits sains et la préservation de l'environnement. Par exemple, la nécessité, pour des raisons sanitaires, de rééquilibrer, dans les régimes alimentaires, le rapport protéines végétales/protéines animales au profit des premières conforte l'intérêt de promouvoir la culture des légumineuses qui, par ailleurs, permet de réduire les apports d'azote de synthèse, consommateur d'énergie fossile, source de pollution des hydrosystèmes et de l'air, et facteur important du dérèglement climatique (Duru *et al.*, 2017). Ces auteurs, comme d'autres (Hinsinger *et al.*, 2019b), proposent le concept d'« une seule santé » (*One Health* en anglais) comme pouvant fédérer agriculture, environnement et alimentation. Nous avons là l'illustration que des synergies existent et qu'il est parfois intéressant de ne pas craindre la complexité pour rechercher des solutions. À la condition de ne pas traiter les problèmes séparément les uns des autres.

Secundo, la multiplicité des objectifs soulève la question des évaluations multicritères pour concevoir de nouveaux systèmes agroécologiques. Ces évaluations s'avèrent d'autant plus délicates que les domaines de connaissance concernés ne sont pas tous bien renseignés (Doré *et al.*, 2011a). Quand on s'en tient à un seul critère, on peut arriver à chiffrer des performances dès lors que les connaissances commencent à être approfondies. Ainsi, dans le cas de certains critères environnementaux et alimentaires, les agronomes arrivent à proposer des indicateurs de résultats qui permettent aux agriculteurs de progresser par comparaison à la solution facile de prendre comme critère l'application de « bonnes pratiques » (Jeuffroy, 2014). Mais dans une approche multicritère, l'agrégation des critères implique d'aborder un vaste champ de connaissances, dont certaines sont informelles, et d'utiliser des informations qualitatives (Sadok *et al.*, 2009). Ceci montre les efforts à faire pour améliorer les indicateurs de résultats et pour les agréger. Un enjeu est d'articuler les évaluations d'impacts (émissions de gaz à effet de serre, eutrophisation et acidification, etc.) par les analyses de cycle de vie (ACV, le plus souvent par kg de produit) et les services fournis à la société (régulations du climat, du cycle de l'eau, etc.) qui s'évaluent à la surface cultivée (van der Werf *et al.*, 2020). Cet exercice amène aussi à intégrer d'autres échelles que la parcelle et l'exploitation agricole, par exemple pour prendre en compte l'échelle du paysage au travers des régulations biologiques qu'il englobe, mais aussi des échanges et des réutilisations de matières qui peuvent y être produites (Duru et Therond, 2021).

Les deux considérations précédentes laissent entendre qu'existent de nombreuses pistes de solutions mettant en œuvre les principes agroécologiques, mais hiérarchisant les critères différemment. De nombreuses études existent portant sur des comparaisons multicritères de cas types d'agriculture, comme celle que présentent Duru *et al.* (2020) au prisme de la « santé unique ».

⏩ À partir des années 1980, avec les sciences sociales, comprendre les déterminants sociaux pour savoir comment agir

Au cours de la décennie 1970, tant au Service d'expérimentation et d'information (SEI) de l'Inra, dans certains instituts outre-mer comme l'IRAT récemment créé, qu'à la chaire d'agriculture (puis d'agronomie) de l'INA ou encore à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, au Maroc, se précise l'idée, chez les agronomes, qu'il leur est

nécessaire de s'impliquer dans le développement, c'est-à-dire la mise en œuvre des connaissances nouvelles qu'ils sont en train d'établir dans l'ensemble des exploitations agricoles d'une région. C'est de cette préoccupation que germe l'idée d'étudier les exploitations agricoles dans leur diversité et d'en faire des types pour adapter les préconisations à chacun d'eux (chapitre 3). Ces réflexions d'agronomes, menées par d'anciens collaborateurs de Hénin (Deffontaines et Sebillotte en particulier), des zootechniciens et des économistes de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques appliquées (Enssaa), aboutissent à la création, en 1979, du département Systèmes agraires et développement (SAD) (Deffontaines et Osty, 1977; Vissac, 1979; Cornu, 2021; chapitre 6). C'est dans ce département de l'Inra que les agronomes établissent des relations interdisciplinaires avec les disciplines économiques et sociales, mais aussi avec les zootechniciens étudiant les systèmes d'élevage qui n'ont pas trouvé leur place dans les départements de Sciences animales de l'Inra.

Cette orientation se retrouve, quelques années plus tard, dans les institutions de recherche françaises sur les agricultures du Sud. Même si les recherches sur les systèmes de production et les systèmes agraires étaient présentes dans les instituts d'agriculture tropicale tout au long des années 1970 (surtout à l'IRAT), il faudra attendre 1984 pour voir la création du Département des systèmes agraires (DSA) au sein du Cirad, lui-même créé la même année (Tourte, 1997; chapitre 6). La recherche sur les systèmes agraires propose des approches différentes de celles *top-down*, alors en vigueur à l'époque chez les agronomes. Elle revisite le lien entre recherche, développement et production. Elle valorise l'approche systémique et s'adresse d'emblée aux différents niveaux d'organisation de la production agricole : parcelle ou troupeau, exploitation agricole, village, pays, petite région. Le DSA du Cirad, dès sa création, vise une action novatrice et par nature interdisciplinaire. Comme à l'Inra, il comprend des agronomes et des zootechniciens, mais aussi des économistes et des sociologues. Ainsi, en métropole comme en outre-mer, une même orientation de collaboration est prise entre agronomes et chercheurs en sciences humaines et sociales qui constitue une spécificité française (Fresco, 1984; encadré 4.2).

Cochet (2011) fait remarquer que dans la conception qui prévaut au département SAD de l'Inra (Vissac et Hentgen, 1979) ou au DSA du Cirad, l'approche du système agraire part de l'exploitation agricole, niveau privilégié de l'analyse système avec l'idée de comprendre comment s'inscrit son fonctionnement dans des niveaux supérieurs. À la même époque, dit-il, une autre conception du système agraire est promue par Mazoyer à la chaire d'agriculture comparée de l'INA. Accordant du poids à la dimension historique de l'organisation sociale, il donne d'emblée au système agraire une dimension plus dynamique et englobante que celles proposées dans les départements SAD de l'Inra et DSA du Cirad. Dans la conception de Mazoyer, le système agraire résulte des interactions réciproques entre l'écosystème cultivé et le système social productif, historiquement situées et durables, adaptées aux conditions bioclimatiques d'un espace donné. C'est cette conception qui permet à Mazoyer et Roudart (1997) de présenter une *Histoire des agricultures du monde* qui met en évidence entre les agricultures de fortes inégalités de productivité héritées de l'histoire et de la géographie.

Cependant, nous allons plutôt adopter l'approche des départements SAD de l'Inra et DSA du Cirad, car c'est dans ce cadre que se sont instaurées, à partir des années 1980, les collaborations entre les agronomes et les chercheurs en sciences humaines (économiques, sociales, juridiques, politiques). En effet, lors de l'assemblée constitutive

Encadré 4.2. Une spécificité française

Lors de la 4e conférence annuelle du *Farming System Research* qui s'est tenue en 1984 à l'Université du Kansas, Louise Fresco présente une comparaison des approches anglophone et francophone de la recherche agronomique dans les pays du Sud. Elle souligne que, dans l'approche française, "institutional linkages with development and extension programmes are crucial from the beginning and, in theory, the development process itself becomes a subject of research[1]".

Et, poursuit-elle, "the existence of concepts like 'système agraire' and 'milieu réel' point to a concern with development on a scale large enough to have an impact on regional or even national production level"[2]. Les termes de « système agraire », vus comme l'étude des interactions entre les exploitations agricoles et les organisations sociotechniques d'ordre supérieur (chapitre 3), et de « développement », incluant les organismes de transfert (chapitre 8), traduisent bien cette orientation.

L'approche anglophone du *Farming System Research*, dominante dans les centres internationaux de recherche agronomique, est différente. Constatant la faible adoption paysanne des techniques testées dans les stations agronomiques, les chercheurs anglophones se concentrent alors sur les exploitations agricoles qui ont trop peu de ressources et d'accès aux intrants externes pour suivre « le progrès technique ». Travaillant directement avec les agriculteurs les plus défavorisés, les scientifiques cherchent à leur trouver des solutions viables[3].

1. « Les liens institutionnels avec les programmes de développement et de vulgarisation sont cruciaux dès le départ et, en théorie, le processus de développement lui-même devient un sujet de recherche. »
2. « L'existence des concepts de système agraire et de milieu réel traduisent un rapport au développement à des échelles suffisamment grandes pour porter sur les impacts de la production régionale et même nationale. »
3. C'est ainsi, dans cette démarche du *Farming System Research*, qu'Altieri, dès 1983, travaillant avec des agriculteurs aux ressources productives limitées, jette les bases de l'agroécologie (Altieri, 1985).

du département SAD de l'Inra en 1979, Vissac et Hentgen écrivent ce qui va se révéler en convergence parfaite avec les idées développées au DSA du Cirad : « Aborder le processus de recherche-développement suppose donc la prise en compte de ces relations et interactions multiples. L'approche systémique vise précisément à l'analyse des relations, à la mise en évidence des niveaux d'organisation, grâce à un éclairage multidisciplinaire dépassant la spécialisation des sciences et le cloisonnement des savoirs. » Aussi est-ce autour du concept de système agraire que nous allons voir comment les agronomes ont cherché, avec les sciences humaines, à étudier les liens qui existent entre niveaux de décision, de la conduite des parcelles jusqu'aux différents niveaux sociotechniques (voire politiques), pour comprendre dans quelle mesure les seconds déterminent les premiers ; et, autour du concept de développement, comment ils ont fait évoluer, grâce aux disciplines des sciences humaines, leurs propres relations avec les acteurs (allant des agriculteurs aux différents acteurs des filières et des territoires) dans des démarches transdisciplinaires de formalisation de problèmes et de recherche de solutions.

Comprendre l'exploitation agricole et les déterminants des systèmes de culture

Nous avons vu au chapitre 3 l'intérêt des agronomes pour comprendre la coordination des activités au sein de l'entreprise agricole. Nous précisons ici comment certaines

disciplines économiques et sociales les y ont aidés et comment des relations interdisciplinaires ont abouti à l'intégration de concepts venant de ces dernières dans leur corpus théorique. Mais, pour comprendre les liens entre les décisions prises au sein des exploitations avec les niveaux organisationnels supérieurs, les agronomes ont engagé avec les disciplines économiques et sociales des relations qualifiées, cette fois, de transdisciplinaires. En ce sens qu'elles n'ont guère modifié le cœur de la discipline, mais qu'elles étaient nécessaires pour aborder et traiter les nombreux problèmes liés au changement d'échelle et à la multifonctionnalité de l'agriculture présentés dans le chapitre 3. Il a alors paru utile de distinguer des catégories de relations entre acteurs relevant de ces disciplines. C'est ainsi que les agronomes ont dû comprendre comment les systèmes de culture s'inscrivaient dans des relations marchandes autour de la fonction productive de l'agriculture, mais aussi dans des relations non marchandes, visant le bien commun, autour des fonctions environnementales.

Relations interdisciplinaires autour de l'exploitation agricole

Les concepts d'itinéraire technique et de système de culture, fondateurs de l'agronomie, ont été conçus à l'échelle de la parcelle. Le concept d'agroécosystème conduit à dépasser cette échelle jusqu'à celle de l'unité paysagère élémentaire, combinant des parcelles contiguës et des espaces semi-naturels. Cependant, l'agriculteur ne cultive pas des parcelles ou des motifs paysagers isolément les uns des autres. Il les cultive au sein d'une entreprise agricole qui est devenue, dès les années 1960, un objet d'étude de l'agronomie à travers une collaboration avec des économistes (chapitre 1).

Les premiers emprunts des agronomes aux sciences économiques ont porté sur les méthodes d'optimisation de profit de l'économie standard, par la méthode de programmation linéaire (chapitre 3). Mais, proches du terrain, les agronomes ont vite recherché des collaborations avec d'autres disciplines des sciences humaines et sociales. Avec des ethnologues, en 1971, dans les Recherches coopératives sur programme en Aubrac (RCP Aubrac), ils comprennent que les techniques que mettent en pratique les agriculteurs résultent d'un apprentissage (Gras *et al.*, 1989). Au cours des années 1970, ils se tournent vers des économistes de l'Enssaa qui promeuvent la théorie du comportement adaptatif; celle-ci prend en compte le fait que les agriculteurs font des arbitrages entre objectif du profit et besoin de sécurité, mais surtout qu'ils suivent un processus de décision qui s'adapte en permanence (Chia *et al.*, 2014). Ces considérations de gestion conduisent les agronomes à une vision systémique et dynamique de l'exploitation agricole. À l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II de Rabat, le sociologue Pascon (1977), initiateur d'une forte orientation pédagogique des stages en exploitation, apporte les éléments d'une approche dynamique sur le long terme des exploitations familiales à partir de l'évolution des besoins de consommation et de la force de travail. Aussi l'exploitation agricole est-elle vue par les agronomes comme un système de relations entre système de production et famille (Osty, 1978). C'est ainsi que pour caractériser la diversité de ces relations, les agronomes ont réalisé des typologies d'exploitation fondées sur des analyses de leur fonctionnement et de leur trajectoire.

Au début des années 1980, Sebillotte pense qu'il faut aller plus loin encore dans le champ d'investigation de l'agronomie en y faisant entrer l'agriculteur comme décideur de ses façons de cultiver (chapitre 1). C'est pourquoi il applique des méthodes d'enquête

venant de l'ergonomie cognitive pour observer le processus de décision d'agriculteurs sur leurs interventions culturales pour semer des betteraves. Il met en évidence un trait commun à tous les agriculteurs suivis, et dégage ainsi un modèle d'action[8] (Sebillotte et Servettaz, 1989). Cependant, même si le modèle d'action présente des traits généraux, des différences existent entre agriculteurs sur la façon de collecter de l'information. L'approche cognitive permet de comprendre les spécificités, pour chaque agriculteur, de la construction de son modèle d'action, c'est-à-dire son répertoire d'actions possibles, son organisation du recueil d'informations, ses anticipations (Cerf et Sebillotte, 1997).

Plus tard, les agronomes travaillant sur les prairies ont appliqué les mêmes méthodes de l'ergonomie cognitive pour comprendre et accompagner la conduite des systèmes herbagers. Ces systèmes sont intrinsèquement difficiles à gérer du fait des variations entre saisons et entre années de la croissance de l'herbe et de sa composition, notamment en fonction du climat. C'est, entre autres, une des raisons qui ont entraîné la régression de la contribution de l'herbe à l'alimentation des ruminants. Au pâturage, l'éleveur suit à la fois la vitesse de consommation du troupeau et celle de la croissance de l'herbe sur l'ensemble de son territoire herbager. Pour ajuster l'une à l'autre, le modèle des stratégies planifiées simulant les décisions de l'agriculteur qui conduit des cultures annuelles ne suffit plus. Il faut considérer que les stratégies sont en partie planifiées, mais aussi continuellement révisées au fur et à mesure du déroulement de l'année (Girard, 1995). Des travaux de recherche, couplant la modélisation des flux de production et de l'utilisation de l'herbe à l'analyse des pratiques d'éleveurs, ont permis d'identifier des indicateurs systémiques, comme les « jours d'avance au pâturage » (Duru *et al.*, 1999 ; Bellon *et al.*, 1999). Ce sont là des repères concrets permettant d'anticiper les adaptations de chargement (nombre d'animaux par unité de surface) à réaliser de façon à s'assurer une optimisation de la croissance et de l'ingestion, sur des pas de temps courts, à l'échelle de la parcelle et, par conséquent, de concevoir des règles de constitution de lots d'animaux, de dates de mise à l'herbe et de retrait, de fauche ou d'ensilage. C'est ainsi que s'élabore, au fur et à mesure et de façon différente d'une année sur l'autre, la parcellisation de la surface en herbe. La gestion territoriale est différente de celle où les parcelles sont délimitées à l'avance.

Chez l'agriculteur, qu'il soit ou non éleveur, l'approche cognitive permet aussi de relier les décisions de long terme (stratégiques) et de court terme (tactiques). En définitive, elle permet de comprendre comment l'agriculteur rétroagit à sa perception de l'évolution de l'état du système, qu'il s'agisse d'une parcelle de culture, d'une prairie ou de son exploitation. D'autres apports sur « la conception des choses » propres aux agriculteurs ont été faits par l'anthropologie à partir d'une analyse rigoureuse de leurs discours (Darré *et al.*, 2004). Les objets conceptuels que les acteurs traitent dans leur système de pensée sont maintenant repris par les sciences de gestion, que ce soit dans le secteur industriel ou sur l'exploitation agricole. Ainsi, pour reconstituer le passage des décisions de l'exploitation aux parcelles cultivées ou aux prairies, les agronomes utilisent des concepts du même genre : sole, lot de parcelles, parcelle guide, chantier, troupeaux, lot d'animaux, etc., ainsi que cela a été présenté au chapitre 3 (Sebillotte et Soler, 1990 ; Aubry, 2000 ; Coléno et Duru, 2005).

8. Dans l'ouvrage *Fertilité et systèmes de production* (Sebillotte, 1989), ce modèle est encore qualifié de « modèle général ».

Ces collaborations interdisciplinaires ont montré la capacité adaptative des agriculteurs par un apprentissage continu. Il importe de souligner la convergence Nord/Sud des idées qui émergent alors. À l'IRAT, puis au DSA du Cirad tout comme au département SAD de l'Inra, l'heure est à la mise en avant de l'agriculteur. « La production agricole est le fait des producteurs agricoles. C'est au niveau de ces producteurs que se prennent une large part des décisions. De fait, ce que l'on observe lorsqu'un ensemble d'innovations est proposé en vulgarisation, c'est un processus complexe d'appropriation technologique. Nier la complexité de cette appropriation des systèmes concernés, comme l'ont fait souvent des modes de vulgarisation ramenant le producteur à un exécutant […], est bien inutile au progrès de l'agriculture », écrivait Griffon en 1980. Dès le début des années 1980, Sebillotte parle de l'existence d'un double diagnostic : celui de l'agronome, réalisé en fonction de connaissances théoriques sur le fonctionnement du champ cultivé, et celui de l'agriculteur, fondé sur son expérience qui se renouvelle continûment (Sebillotte, 1990). La richesse de cette distinction n'est pas perçue tout de suite, mais grâce à des travaux de socio-anthropologie (Darré, 1994), le savoir pratique des agriculteurs devient progressivement accessible aux agronomes, qui le valoriseront dans des démarches de développement.

Relations transdisciplinaires sur les échanges marchands

Les échanges marchands d'amont

Les économistes ont montré qu'après une période d'intense concurrence entre entreprises d'amont au cours des années 1950-1970, puis une forte concentration de celles-ci, elles ont cherché à consolider leur part de marché en intégrant dans la fonction commerciale une fonction de conseil (Valceschini, 1990). Elles ont ainsi renforcé le poids qu'elles avaient déjà sur les décisions des agriculteurs, les poussant à intensifier les modes de conduite des cultures. Au moment où les agronomes ont cherché à inciter les agriculteurs à réduire les intrants, des travaux menés en lien avec des sociologues ont permis de voir qu'existait un verrouillage de l'agriculture intensive autour des pesticides. Lamine *et al.* (2010) ont observé en effet que, lorsque la firme amont vend en même temps pesticides et semences, les outils d'aide à la décision permettant de raisonner les traitements étaient plus diffusés que les variétés résistantes aux maladies ou que les associations d'espèces ou de variétés pourtant efficaces pour limiter les bioagresseurs. Une autre forme d'influence des firmes d'amont sur les décisions des agriculteurs est liée à l'arrivée du numérique. Des outils numériques embarqués dans les machines font maintenant l'objet de la concurrence féroce que se livrent entre elles les firmes de l'agroéquipement, comme le souligne Jeanneaux (2018), qui invoque la nécessité d'un débat critique sur le numérique en agriculture[9].

Les échanges marchands d'aval

C'est aussi grâce à la collaboration d'économistes des filières que les agronomes ont pu comprendre comment les relations marchandes d'aval influençaient les systèmes de culture. Les contrats passés entre les agriculteurs et les firmes agro-industrielles,

9. Le volume 8 numéro 1 de la revue de l'Association française d'agronomie, *Agronomie, environnement & sociétés*, dont le thème est « Agronomie et agriculture numérique, ce qui change pour les agronomes », a ouvert ce débat que reprend le chapitre 5.

conformes à un contrat-type, dans le cadre d'accords interprofessionnels qui dominaient dans les années 1960, ont évolué, dans les années 1980, vers une coordination marchande entre chaque firme et les agriculteurs qui la fournissent (Valcheschini, 1990; 1993; de Sainte-Marie et Casabianca, 1998). La qualité, jadis définie de façon unique par une interprofession, est entrée dans le champ de la concurrence. Elle ne porte pas seulement sur le produit, mais sur la façon de produire, traduite par des cahiers des charges qui, résultant d'une coordination technique, s'imposent aux exploitations agricoles (Capillon et Valceschini, 1998). Le chapitre 3 montre comment, au sein des bassins d'approvisionnement d'entreprises de collecte, premier maillon des relations entre les exploitations agricoles et le secteur agroalimentaire d'aval, cette coordination technique se traduisait sur la conduite des parcelles. Tandis qu'au sein de chaque exploitation la multiplicité des cahiers des charges issus de l'aval affecte l'ensemble de la gestion technique de l'exploitation (Wünsch, 2004).

L'apport des économistes fait également comprendre que la recherche d'économie d'échelle de la part des entreprises d'aval incite à la spécialisation des productions dans les exploitations agricoles. C'est pourquoi, lorsque les agronomes ont cherché à diffuser des principes agroécologiques par la diversification des cultures, ils ont constaté la difficulté d'introduire de nouvelles espèces dans les exploitations, les stratégies des filières autour de quelques grandes espèces verrouillant toute introduction (Meynard et Messéan, 2014). Pour comprendre les obstacles à une transition écologique, les agronomes utilisent alors le concept de verrouillage technologique, issu de l'économie de l'innovation, qui a été proposé pour l'agriculture en France par Labarthe (2010) et Fares *et al.* (2012). L'économie d'échelle s'oppose à une économie de gamme, qui donnerait de la valeur à la diversité des productions en faisant jouer des synergies et des complémentarités. Tout est solidement lié dans le système sociotechnique dominant. Poussant plus loin avec des économistes leur recherche sur les raisons pour lesquelles les légumineuses graines sont si peu présentes dans les systèmes de culture, alors que leurs effets environnementaux et sanitaires sont si manifestes, les agronomes remontent à des choix politiques du début des années 1960 (Magrini *et al.*, 2016) (chapitre 3).

Cependant, autour d'acteurs minoritaires existent des « niches d'innovations », et Meynard (2016), s'inspirant de concepts issus de la sociologie des techniques, propose de repérer ces niches comme autant de systèmes sociotechniques constitués d'acteurs en réseaux. Les sociologues montrent que ces niches se manifestent souvent dans des circuits courts de producteurs à consommateurs au sein desquels se renforcent des liens de confiance (Lamine, 2008). Ces circuits courts se multiplient depuis les années 2000 dans les pays développés en périphérie des villes, où ils peuvent aussi remplir d'autres fonctions qu'alimentaires, spécifiquement environnementales et récréatives. Très différenciés et encore mal documentés, leurs performances techniques, économiques et environnementales doivent faire l'objet d'évaluations par des démarches transdisciplinaires (Aubry et Chiffoleau, 2009). Mais, alors que dans les pays du Nord, en périphérie des villes, la fonction alimentaire de ces circuits n'est pas première, assurée qu'elle l'est par la grande distribution, elle l'est au contraire dans les pays du Sud peu industrialisés, marqués par une agriculture vivrière importante (Soulard et Aubry, 2011).

Relations transdisciplinaires autour de la fonction environnementale de l'agriculture

Sur les questions environnementales, les relations entre les agriculteurs et les autres acteurs sont de nature radicalement différente de ce qu'elles sont dans les transactions marchandes autour de la production (Papy et Torre, 2002). Les relations marchandes s'établissent souvent entre des partenaires qui passent volontairement des accords qui, même s'ils ne sont pas équilibrés, aboutissent à une coordination entre différents systèmes techniques de production, de collecte, de transformation, de distribution, etc. Lorsqu'il s'agit de mettre en œuvre un objectif environnemental par la régulation de processus naturels, de nouveaux rapports entre acteurs interfèrent avec les systèmes de culture et d'aménagement. Les agronomes doivent alors nouer de nouvelles relations avec les disciplines humaines et sociales. Tout comme l'agronomie, ces dernières sont en cours de rénovation, ayant ignoré les questions environnementales jusqu'à la fin des années 1970. Dans le chapitre 3, les problèmes environnementaux sont abordés en fonction de la nature des processus en jeu dans un changement d'échelle de la parcelle à la planète. Ces processus s'inscrivent dans une continuité spatiale et peuvent avoir des impacts plus ou moins lointains sur des populations plus ou moins larges. Dans leur collaboration transdisciplinaire avec les sciences humaines et sociales, les agronomes doivent penser l'organisation des systèmes de culture dans l'espace où les processus sont en jeu, aspects qu'ils n'avaient pas à prendre en compte tant qu'ils n'abordaient que des échanges marchands.

Beaucoup de problèmes environnementaux sont liés à la gestion spatio-temporelle de flux qui peuvent entraîner entre acteurs des problèmes locaux de voisinage. Un bon exemple de la contribution d'agronomes à la fixation de règles juridiques de voisinage est tiré des travaux réalisés sur la dissémination des OGM dans les paysages agricoles (Messéan, 2019). Le législateur reconnaissant, en France comme en Europe, au consommateur le droit d'avoir des produits garantis sans OGM, et voulant par avance éviter les conflits juridiques, a demandé à la recherche agronomique s'il était possible de faire cohabiter des filières OGM et non OGM. En utilisant un modèle de l'effet des techniques culturales et des successions de cultures sur les repousses de colza (Colbach *et al.*, 2001), en le généralisant à d'autres cultures et en y associant des modèles de dispersion atmosphérique de propagules, les agronomes ont préconisé des distances d'isolement, des décalages de semis ou de choix de variétés de précocités différentes.

Bien au-delà des problèmes de voisinage, les questions de préservation des biens publics que sont l'eau, le climat, la biodiversité relèvent de politiques et d'organisations visant à modifier l'aménagement des territoires. Au sein de la politique agricole commune (PAC), à partir de 1992, ont été mises en œuvre des opérations établissant des cahiers des charges pour limiter les effets négatifs des pratiques agricoles sur l'environnement. Mais, reposant sur le volontariat, elles n'ont pu résoudre correctement la régulation de phénomènes qui se manifestent dans une continuité spatiale. C'est vrai des opérations locales agro-environnementales (OLAE) ou des mesures agro-environnementales (MAE) qui s'appliquent à la parcelle, mais aussi des contrats territoriaux d'exploitation (CTE) (chapitres 3 et 8). La répartition très discontinue dans l'espace de ces opérations explique, entre autres raisons, leur faible efficacité.

Il a ainsi fallu analyser comment se constituent de nouvelles organisations entre acteurs autour de la gestion d'unités spatiales fonctionnelles telles que décrites au chapitre 3 (bassin-versant, aire d'alimentation d'aquifère, aire sous influence de pôle urbain, etc.). Dans de tels cas, l'apport des géographes a été décisif, s'étant eux-mêmes appuyés d'abord sur des approches régionales plutôt descriptives et fonctionnelles, puis sur des études des pratiques d'acteurs dans leur rapport à l'espace, facteurs structurants de l'organisation des territoires (Bülher *et al.*, 2010). L'ouvrage intitulé *Agricultures et territoires* (Laurent et Thinon, 2005) est le fruit d'une collaboration entre agronomes, géographes et économistes pour « représenter les règles d'organisation des espaces ruraux sous influence agricole », comme le souligne Béranger dans la préface. On y trouve comment traiter les nombreuses données pour renseigner les relations entre les formes d'agriculture et les territoires (Le Bas *et al.*, 2005) et comment cartographier les usages agricoles du sol comme résultant de champs géographiques, de distances, de milieux, de réglementations, etc. (Thinon, 2005a).

Le développement territorial constitue une belle illustration de démarche transdisciplinaire où l'agronomie est fortement impliquée en interaction avec des disciplines telles que l'économie spatiale, la géographie, mais aussi les sciences politiques et juridiques (Boiffin *et al.*, 2014). Un exemple de cette transdisciplinarité est donné dans le chapitre 8. Il montre comment, s'appuyant sur une démarche géographique (Soulard, 1999), des agronomes du développement, dans le cadre d'une opération locale Ferti-Mieux, combinent sur deux bassins d'alimentation de sources des dispositifs réglementaires, incitatifs et fondés sur le volontariat, pour faire baisser la pollution nitrique. L'approche géographique conduit à proposer une grille de lecture des composantes spatiales qui interviennent dans le traitement d'un problème de pollution. La lutte antiérosive dans le pays de Caux est un autre bon exemple de recherche transdisciplinaire dont Papy *et al.* (2016) proposent une chronique qui commence au début des années 1980. Face à l'accroissement des inondations catastrophiques consécutives à la disparition des prairies et à l'augmentation des tailles de parcelles, des fonds publics financent alors des travaux d'agronomes, de géomorphologues, de socio-anthropologues, tandis que les instances locales créent en 1985 une association gestionnaire parapublique, Areas (Association de recherche sur le ruissellement, l'érosion et l'aménagement du sol), avec à sa tête un agronome. Ce dernier joue un rôle charnière entre les différents chercheurs et les instances décisionnelles. Les premiers analysent comment les processus érosifs s'organisent au sein de bassins-versants, chacun constitué d'une hiérarchie différente des bassins élémentaires, et les seconds (préfet et président du conseil général) décident de créer en 2000 vingt et un syndicats de bassins-versants. Ils calquent ainsi une organisation sociale sur des entités naturelles fonctionnelles. Agronomes et géomorphologues ont joué des rôles complémentaires dans la compréhension du processus érosif. Les premiers, en analysant le processus de déclenchement du ruissellement dans les bassins-versants élémentaires, expliquent les conditions d'apparition des crues hivernales. Mais il faut tenir compte de l'analyse morphologique des géographes pour comprendre que les bassins-versants élémentaires ne présentent pas le même risque de crues turbides de printemps selon leur raccord à l'axe principal du grand bassin-versant. Selon qu'à l'échelle du bassin-versant élémentaire c'est l'un ou l'autre des processus qu'il faut réguler, la forme des négociations entre acteurs ne sera pas la même.

On trouve d'autres exemples d'interactions entre agronomes et géographes sur des questions d'aménagement du territoire en région périurbaine, où la multifonctionnalité de l'agriculture s'impose tout particulièrement. À la fonction de production s'en ajoutent d'autres comme des fonctions environnementales spécifiques de l'environnement urbain, paysagères et récréatives. Soulard et Aubry (2011) font remarquer que ces fonctions n'ont pas du tout le même poids dans les pays du Nord industrialisés, où l'approvisionnement alimentaire de la population est assuré en grande partie par la grande distribution, et dans les pays du Sud, où les populations défavorisées dépendent des approvisionnements périurbains. Ceci étant, même au Nord, les politiques alimentaires des différentes métropoles varient sensiblement. Les travaux de Perrin *et al.* (2013) sur l'agglomération de Montpellier illustrent bien le passage d'un développement conflictuel entre ville et agriculture (étalement urbain *versus* viticulture) à une politique ambitieuse de l'agglomération de préservation des terres agricoles pour contenir l'étalement urbain.

Enfin, des recherches sur la réassociation culture-élevage au sein de territoires sont en cours. Leur objectif est de recréer une diversité fonctionnelle entre systèmes, tout en maintenant une forme de spécialisation individuelle (Lemaire *et al.*, 2014). Des recherches ont été initiées dans ce sens en Europe vers 2010 impliquant l'agronomie et la zootechnie (Leterme *et al.*, 2019). La complémentarité à l'échelle des territoires repose sur des échanges de matières (fourrages, déjections). Une telle stratégie peut conduire à un changement d'utilisation des terres, comme l'introduction de luzerne (sans élevage) dans des exploitations de grande culture. Mais l'intégration agroécologique des cultures et de l'élevage entraîne une complexification des systèmes, liée aux nécessités de gérer à la fois la circularité des flux pour limiter l'utilisation d'intrants et les émissions polluantes, et l'organisation des espaces pour favoriser l'expression de services écosystémiques. Cette complexification nécessite des apprentissages et des coordinations au sein des systèmes socioécologique et sociotechnique (Lemaire *et al.*, 2014; Moraine *et al.*, 2016).

Relations transdisciplinaires autour de recherches sur les politiques publiques

Pour remonter aux causes premières des décisions des agriculteurs, c'est-à-dire, *in fine,* aux politiques publiques, les agronomes ont procédé par étapes en s'adjoignant la collaboration de disciplines économiques et sociales. La réduction de l'usage des pesticides dans les itinéraires techniques est un des sujets de préoccupation constante. Analysant les échecs du plan national Écophyto lancé en 2008, Guichard *et al.* (2017) montrent qu'au-delà des critiques sur les actions mises en place auprès des agriculteurs et de leurs conseillers, c'est tout le système sociotechnique qui verrouille tout progrès dans la réduction des pesticides. C'est donc avec des sociologues des techniques que des pistes de recherche doivent être enclenchées. Mais, au-delà encore des différents systèmes sociotechniques mis en cause, il a bien fallu comprendre ce qui a engendré l'évolution de l'agriculture ayant conduit à la crise actuelle. C'est grâce à la collaboration de macroéconomistes que les agronomes ont pu comprendre la spécialisation des régions et pourquoi les systèmes de grande culture sont si spécialisés sur les céréales, et les systèmes d'élevage intensif sur une alimentation composée de maïs fourrage et de tourteau de soja importé. Preuve de l'intérêt des agronomes sur ces questions, la revue

de l'Association française d'agronomie a consacré deux numéros à la PAC (en 2013 et en 2021) et un numéro sur la mise en synergie de l'agronomie et de l'économie autour du rôle des politiques publiques sur les exploitations agricoles (en 2014). Quelle politique agricole pourrait assurer un lien entre les processus de production marchande et ceux de préservation, voire d'augmentation des ressources naturelles (Bazin, 2021) ? Comment rémunérer les agricultures qui produisent des biens marchands et non marchands ? Ce sont là des questions communes aux agronomes et aux sciences économiques, sociales, juridiques, politiques. Les agronomes ne peuvent y répondre sans comprendre les effets sur les modes de production des différentes mesures politiques que simulent les économistes. Les économistes ne peuvent y répondre sans tenir compte des connaissances agronomiques sur les modes de production ; sur les synergies entre cultures, comme par exemple l'effet précédent (Jeuffroy, 2014) ; sur les besoins en travail et de façon plus générale sur tout ce qui peut affiner les fonctions d'utilité des agriculteurs à la base des modèles économiques (Jacquet, 2014). La rémunération des services écosystémiques constitue actuellement un vaste chantier de collaboration transdisciplinaire. Lescourret *et al.* (2015a) montrent qu'il est pertinent de traiter à la fois plusieurs services dans des démarches participatives avec les acteurs concernés.

Une façon originale de participer à la définition de politiques publiques est de construire des scénarios portant sur le changement global des rapports entre nature, agriculture et société. En collaborant avec de nombreuses disciplines relevant des sciences naturelles (sciences de l'environnement, sciences animales et de la nutrition, etc.), les agronomes doivent développer des approches holistiques pour imaginer différentes voies à proposer aux choix politiques, dès lors que la situation actuelle est remise en question. De ce point de vue, les agronomes ont récemment pris conscience que les productions animales étaient au cœur des enjeux de sécurité alimentaire, de santé, de réchauffement climatique et de biodiversité (Duru *et al.*, 2021). Ce n'est guère surprenant quand on prend conscience qu'actuellement, en France métropolitaine, en plus des prairies permanentes (9,2 Mha), l'élevage mobilise 65 % de la surface agricole utile (4,8 Mha pour les prairies temporaires et le maïs ensilage, 2,8 Mha de céréales et 3,2 Mha de protéagineux), auxquels il faut ajouter l'équivalent de presque 2 Mha de soja importé.

Or, suite à la COP21[10], de nombreux États se sont engagés à atteindre zéro émission nette de gaz à effet de serre en 2050, ce qui revient en France à diviser par deux les émissions de l'agriculture et de l'alimentation. Dans le même temps, les émissions de gaz à effet de serre résultant de nos choix alimentaires ont été évaluées. Il est maintenant montré que dans les pays occidentaux, l'essentiel de cet impact de notre alimentation provient de la viande. D'une part nous consommons plus de protéines que nos besoins (1,4 g consommé *vs* 0,8 g de besoin/kg de poids corporel) ; d'autre part, le pourcentage de protéines animales (plus de 60 %) devrait être ramené à 50 %. En outre, il est montré que les régimes plus végétalisés sont aussi les meilleurs pour la santé. Il faut donc envisager un redimensionnement de l'élevage.

Dans le même temps, la pression sur les terres agricoles se fait plus grande afin de fournir des produits biosourcés (bioénergie, biomatériaux), ce qui met plusieurs utilisations de la biomasse en compétition, entre *food, feed, fuel, fibre and fertility*.

10. 21e Conférence des parties (COP) à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques de 1992.

Le dernier terme résulte de ce que pour réduire l'utilisation des intrants de synthèse il devient nécessaire de restituer plus de matière organique au sol, ce qui accroît la compétition pour l'usage de la biomasse. Enfin, la pandémie de la Covid-19 nous rappelle que la plupart des zoonoses ont pour origine la déforestation, qui favorise la mise en contact d'une faune sauvage porteuse de virus avec les animaux domestiques ou les hommes. L'utilisation des tourteaux de soja et de l'huile de palme pour l'élevage contribue à l'accélération de la déforestation.

L'élevage et les protéines animales jouent donc un rôle majeur dans ces multiples défis : alimentaires, sanitaires, énergétiques et environnementaux (locaux et globaux). Le choix des niveaux de production de biomasse (potentiel pédoclimatique ou non comme en bio), la façon de la produire (utilisation des engrais de synthèse et des pesticides ou des services fournis par la biodiversité) et la part allouée aux différents usages ont donc des répercussions majeures, tant locales que globales, sur les sols, les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi sur la séquestration du carbone, la perte de biodiversité et les services qu'elle peut rendre.

Les scénarios à construire doivent prendre en compte à la fois les logiques culturales (comment produire la biomasse), la place et les formes d'élevage dans les territoires, l'alimentation (notamment la part des protéines animales) et les bioénergies, et évaluer l'ensemble de leurs impacts environnementaux et sanitaires. Comme on le voit, les innovations agronomiques doivent être imaginées au cœur d'un ensemble d'enjeux complexes.

Participer avec les acteurs à l'émergence de solutions

La connaissance permet d'agir et l'action permet de connaître. C'est cette relation interactive entre connaissance et action qu'utilisent les agronomes, grâce aux apports conceptuels de disciplines cognitives et sociales, pour participer, dans des démarches de développement, à l'émergence de solutions. Cela suppose le partage entre les acteurs concernés d'un avenir souhaité pour l'agriculture. Ce qui fait dire à Meynard (2016) que le développement est une notion fondamentalement politique. Le chapitre 8 présente comment a évolué au cours du temps le système de développement agricole et comment il a contribué à la dynamique de l'agronomie. Examinons ici comment cette évolution a résulté d'interactions entre disciplines.

L'objectif du développement est la diffusion du progrès technique. Il consiste essentiellement en une transmission de connaissances. Il est d'abord le fait des ingénieurs des services agricoles qui entretiennent leurs compétences, de 1945 à 1961, à travers le *Bulletin technique des ingénieurs des services agricoles*. Puis, après 1959, les conseillers des chambres d'agriculture prennent le relais quand le développement agricole est transféré aux organismes professionnels. Dans les années 1970, la chaire d'agronomie de l'INA assure la formation professionnelle de ces conseillers, qu'elle poursuit plus tard en 1983 par la Relance agronomique (chapitre 7). À travers des sessions, les enseignants-chercheurs transmettent des connaissances agronomiques aux conseillers agricoles dans le but de les adapter à leur métier, eux-mêmes ayant des contacts directs et réguliers avec les agriculteurs. Jusqu'à cette époque, les agronomes ne recourent pas aux sciences sociales, considérant le développement comme étant avant tout du transfert.

À partir des années 1980, les agronomes prennent conscience que les agriculteurs construisent également une partie de leurs propres connaissances et intègrent des

connaissances venues de l'anthropologie, de la sociologie, de l'ergonomie et des sciences de gestion, puis plus tard de la didactique professionnelle. C'est d'ailleurs en partie pour cela que Sebillotte distinguait déjà le diagnostic de l'agriculteur de celui de l'agronome. Plus récemment, Kockmann *et al.* (2019) ont exposé comment, de ce double point de vue, la démarche clinique a été au centre de la relation entre conseillers et agriculteurs. Dans les pays du Sud, la reconnaissance des savoirs empiriques des agriculteurs et de leurs capacités innovantes est également reconnue dans les institutions de recherche[11], mais, comme le font remarquer Triomphe *et al.* (2017), ces savoirs sont malheureusement ignorés, voire même rejetés par les institutions de développement.

C'est donc à partir d'une sociologie du changement technique, qui se développe dans les années 1980, qu'évoluera la conception du développement. En France, le Groupe d'expérimentation et de recherche : développement et actions localisées (Gerdal ; Darré, 1994) y a fortement contribué. Ses travaux établissent comment les praticiens élaborent collectivement une connaissance qui leur est propre et analysent les spécificités du métier de conseiller technique en agriculture (Lémery, 1994). Par une collaboration approfondie avec les agronomes et les zootechniciens du département SAD de l'Inra, ils permettent de faire ressortir la différence entre la conception des agriculteurs et les modèles des agronomes fondés sur leur connaissance des processus (Darré *et al.*, 2004). De cette différence, les agronomes ne savent que faire jusqu'à ce que l'ergonomie (Cerf, 2016) et les sciences de gestion (Girard, 2016) permettent de comprendre tout l'intérêt de la distinction à faire entre les connaissances pour comprendre et les connaissances pour agir. Bien sûr les connaissances pour comprendre, quand elles existent, confortent le praticien. Mais l'agronome doit comprendre comment s'élaborent les connaissances pour agir chaque fois que les connaissances sur les processus sont insuffisantes pour s'appliquer à la diversité des conditions de culture. C'est encore plus vrai pour des espèces à la biologie peu connue (Girard et Navarrete, 2005).

Selon le type de conseil demandé par l'agriculteur, le rapport entre les deux modes de connaissance est différent. S'il s'agit de préciser le meilleur moment d'intervention, la meilleure dose à mettre, etc., des outils d'aide à la décision sont mis au point, mélanges souvent de fondements théoriques et d'ajustements empiriques. Ils présentent un réel intérêt tant que l'agriculteur en garde la maîtrise. Mais les changements plus profonds de systèmes de culture, voire de systèmes de production, et les réaménagements paysagers pour mettre en œuvre des principes d'agroécologie donnant plus de place aux régulations naturelles (Barbier et Goulet, 2013) demandent un rapprochement des deux modes de connaissance.

Pour prendre un exemple, la nécessité de changement profond s'est manifestée, dès les années 1990, par l'incitation faite aux exploitations de s'inscrire dans une démarche d'assurance-qualité complétée par une certification. Pour construire de la confiance sur la production agricole, l'idée est vite apparue qu'il pouvait être utile de promouvoir une telle démarche. Des études conjointes entre économistes de la qualité, ergonomes et agronomes ont permis de voir à quelles conditions, pour dépasser un niveau donné de qualification, une démarche de boucle de progrès inspirée des normes ISO 9000/14000

11. Voir le numéro thématique des *Cahiers Agricultures* de 2017, « Des projets de plates-formes d'innovation pour soutenir les petits producteurs – Quelques expériences en Afrique subsaharienne », coordination Janice Jiggins et Jean-Yves Jamin.

pouvait être appliquée aux exploitations agricoles (Mazé *et al.*, 2004; chapitre 8). Il en est résulté que de telles démarches, qui dans des entreprises nécessitent souvent un ingénieur qualité, sont difficiles à mettre en œuvre dans les très petites entreprises que sont les exploitations agricoles sans un conseil extérieur qui pousse à une réflexivité accrue des agriculteurs sur leurs propres pratiques.

Pour les agriculteurs, il n'est plus possible de s'appuyer sur les mêmes principes de gestion que ceux utilisés pendant la période antérieure. L'agriculteur doit passer d'une logique de minimisation du risque dans une planification des actions en fonction d'objectifs à un pilotage des différents niveaux d'agroécosystèmes qui créent des incertitudes plus ou moins fortes. Pour l'agronome, il n'est plus possible de s'appuyer sur les seules connaissances scientifiques incorporées dans des modèles génériques, car ils ne permettent pas de rendre compte de la diversité locale et perdent toute capacité prédictive en raison du nombre élevé de variables à y introduire. Le poids de l'incertitude, la forte dépendance du contexte caractérisent la recherche des systèmes agroécologiques (Meynard, 2016). S'appuyant sur l'ergonomie de conception et les disciplines de gestion des connaissances, Prost *et al.* (2012), après avoir analysé de nombreux outils d'aide à la décision, montrent qu'ils ne sont pas conçus pour les utilisateurs potentiels. Aussi, concluent-ils, il faut proposer une méthode de conception faisant participer les utilisateurs finaux. C'est ce que font Cerf *et al.* (2012b) en proposant une dynamique de mobilisation croisée de connaissances au cours du changement de pratiques (chapitre 5). Dans le même sens, Toffolini (2016), en mobilisant des concepts et démarches venant de la didactique professionnelle, cherche comment définir des connaissances agronomiques adaptées à l'action en situation. Un résultat important de cette étude est que dans la recherche d'une solution agroécologique, l'agriculteur, plutôt que de chercher à savoir comment trouver la meilleure solution technique, cherche avant tout à comprendre le fonctionnement du système. Voilà un point commun entre savoirs, théorique et pratique. Dans un processus de reconception, ce n'est plus le « modèle d'action », où les adaptations prévues sont tactiques, qui peut en rendre compte, mais plutôt des concepts qui laissent une plus grande part à l'adaptation de stratégies organisatrices de l'action. L'agriculteur qui reconçoit son système construit une connaissance sur le monde d'une façon inextricablement liée à la manière dont il le transforme. Les agronomes ont alors à proposer des connaissances qui permettent une construction progressive des systèmes de culture et des aménagements paysagers.

Le développement de formes d'agricultures nouvelles ne peut se résoudre par les seules relations entre agronomes conseillers et agriculteurs. La conception de systèmes alimentaires préservant les ressources naturelles à l'échelle des territoires implique un grand nombre d'acteurs. Plus encore que dans le cas précédent, la mise en commun de différents modes de connaissances devient nécessaire. Cependant, fait remarquer Meynard (2016), les différents acteurs ne sont pas en attente de règles d'action prédéfinies mais de connaissances fonctionnelles, de scénarios, d'outils permettant de nourrir leurs réflexions. La modélisation d'accompagnement consiste à construire de tels scénarios par le biais de jeux de rôle entre acteurs ayant des intérêts et des conceptions du monde parfois antagonistes (Barreteau *et al.*, 2003). Les scénarios sont ensuite évalués ensemble dans une démarche d'apprentissage collectif qui s'avère pertinente au Nord comme au Sud. Elle constitue un mode d'intervention privilégié pour des

équipes disciplinaires de l'IRAT. L'étude faite par Della Rossa (2020) autour de bassins-versants de Martinique et de Guadeloupe pollués antérieurement par la chlordécone et actuellement par d'autres herbicides est un bon exemple de cette démarche de conception collective.

Conclusion

Ce chapitre sur les relations de l'agronomie avec d'autres disciplines au cours d'une longue période permet d'identifier quelques points saillants. Il faut les rappeler pour comprendre comment les agronomes pourront continuer à relever les nouveaux défis posés demain par la production agricole, la préservation de l'environnement, l'alimentation et la santé.

Nous avons vu que, dans les décennies 1960 et 1970, en associant la conception de systèmes techniques à une démarche de diagnostic, l'agronomie s'est identifiée comme discipline scientifique et technique. Une discipline qui porte à la fois sur les processus participant à la production végétale et sur les logiques qui les actionnent. Cette double ambition a libéré l'agronomie de la domination de disciplines dont elle n'avait été, jusqu'alors, que l'application. Ses relations à d'autres disciplines s'en sont trouvées changées. Elles n'en ont pas été aisées pour autant, se heurtant à des obstacles épistémologiques, liés à cette ambition. L'intention des agronomes de s'impliquer dans l'action (à chercher à comprendre l'action des agriculteurs et à l'accompagner) a limité leur curiosité pour de nouvelles connaissances sur les processus. Est-il besoin de connaissances non directement liées à l'action si celles dont on dispose suffisent ? On comprend pourquoi l'écophysiologie fonctionnelle, née dans des disciplines étudiant le fonctionnement d'écosystèmes naturels sans interventions humaines, a mis du temps à pénétrer le corpus théorique des agronomes. Elle y est d'ailleurs entrée par la prairie, le couvert végétal cultivé le plus naturel. On a compris également pourquoi les agronomes ont entériné sans difficulté toute solution qui simplifie l'action de produire. C'est ainsi qu'ils ont longtemps accepté l'emploi de pesticides, dès que ces derniers sont apparus sur le marché, comme une technique de culture au même titre que les autres. À cette époque, les spécialistes de la protection des cultures commençaient à remettre en cause leur généralisation. Enfin, dans un autre ordre d'idée, mais toujours liée au plus près des agriculteurs, les agronomes ont tardé à remonter aux causes premières de leurs actions. Il a fallu qu'ils collaborent avec des sociologues de l'innovation pour comprendre les verrouillages sociotechniques, et avec des macroéconomistes pour comprendre l'effet des politiques publiques sur les actions des agriculteurs. Et, s'ils ont vite reconnu aux agriculteurs une rationalité qui leur était propre, il leur a fallu l'apport des sciences cognitives pour les considérer comme producteurs de connaissances.

Mais, la complexification des enjeux aidant, ces obstacles épistémologiques ont été surmontés peu à peu. Plus encore, par leur capacité à connecter entre eux des concepts issus des sciences naturelles et des sciences humaines, les agronomes ont une compréhension systémique des problèmes sans crainte de la complexité. Or c'est bien une complexité toujours plus grande qu'il faut affronter pour répondre aux nouvelles questions sociétales sur l'agriculture. Faut-il d'ailleurs la craindre, nous qui avons vu que, montant en complexité en associant objectifs environnementaux et sanitaires, il était possible de trouver des synergies entre ces objectifs ? Par leur capacité à interagir avec d'autres disciplines, les agronomes peuvent construire de nouvelles connaissances

« actionnables », concevoir de nouveaux systèmes techniques et aider à leur mise en œuvre. On l'a vu lorsque les agronomes ont intégré dans leur champ la protection des cultures. On le voit maintenant qu'ils donnent des orientations à la sélection végétale. On devrait s'en apercevoir alors qu'ils abordent, dans leur globalité, les orientations à donner aux formes de culture et d'élevage dans les territoires, à différentes échelles, pour réguler les équilibres biogéochimiques, cultiver la biodiversité, équilibrer les régimes alimentaires, etc., et que, grâce à l'apport des sciences cognitives et sociales, associant connaissances pour comprendre et connaissances pour agir, avec les différents acteurs du changement des systèmes agricoles, ils s'inscrivent dans des démarches d'innovation.

⏩ Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Classées chronologiquement elles permettent de mettre en parallèle l'évolution des relations des agronomes à d'autres disciplines, distinguées dans ce chapitre par leur appartenance au monde des sciences de la nature (partie2) et de la société (partie 3). Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Riedel C.-E., Franc de Ferrière J., 1951. Les sols de limon des plateaux de la Brie française. *Annales agronomiques*, 6, 782-802.

Hénin S., Féodoroff A., Gras R., Monnier G., 1960. *Le Profil cultural. Principes de physique du sol.* Société d'Éditions des ingénieurs agricoles, Paris, 320 p.

Monnier G., 1970. Les objectifs des techniques culturales, problèmes posés par leur choix et l'appréciation de leur action. *In* : *Colloque « Herbicides et techniques culturales »*, Comité français de lutte contre les mauvaises herbes (Columa), 39-58.

Sebillotte M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers de l'Orstom, série Biologie*, 24, 3-25.

Osty P.L., 1978. L'exploitation agricole, vue comme un système : diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bulletin technique d'information*, 326, 43-49.

Boiffin J., Caneill J., Meynard J.M., Sebillotte M., 1981. Élaboration du rendement et fertilisation azotée du Blé d'hiver en Champagne crayeuse. I. Protocoles et méthode d'étude d'un problème technique régional. *Agronomie*, 1 (7), 549-558.

Gillet M., Lemaire G., Gosse G., 1984. Essai d'élaboration d'un schéma global de la croissance des graminées fourragères. *Agronomie*, 4 (1) 75-82.

Gosse G., Varle-Grancher C., Bonhomme R., Chartier M., Allirand J.M., Lemaire G., 1986. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. *Agronomie*, 6 (1), 47-56.

Bonhomme R., Drouet J.L., Améglio T., 1995. Introduction à la modélisation du fonctionnement physiologique d'un couvert. *In* : *Actes de l'École-Chercheurs Inra en bioclimatologie*, Le Croisic, 3-7 avril 1995. *Tome 1. De la plante au couvert végétal* (Cruiziat P., Lagouarde J.P., coord.), Département de bioclimatologie de l'Inra, Thiverval-Grignon, 647-677.

Cerf M., Sebillotte M., 1997. Approche cognitive des décisions de production dans l'exploitation agricole. *Économie rurale*, 239, 11-18.

Capillon A., Valceschini E., 1998. La coordination entre exploitations agricoles et entreprises agroalimentaires. Un exemple dans le secteur des légumes transformés. *Études et recherches sur les systèmes agraires et le développement*, 31, 259-275.

Bellon S., Girard N., Guerin G., 1999. Caractériser les saisons-pratiques pour comprendre l'organisation d'une campagne de pâturage. *Fourrages*, 158, 115-132.

Baudry J., Burel F., Thenail C., Le Cœur D., 2000. A holistic landscape ecological study of the interactions between farming activities and ecological patterns in Brittany, France. *Landscape and Urban Planning*, 50 (1-3), 119-128.

Papy F., Torre A., 2002. Quelles organisations territoriales pour concilier production agricole et gestion des ressources naturelles ? *Études et recherches sur les systèmes agraires et le développement*, 33, 151-169.

Meynard J.-M., Doré T., Lucas P., 2003. Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes-rendus Biologies*, 326, 37-46.

Lemaire G., Jeuffroy M.H., Gastal F., 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28, 614-624.

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 43-62.

Duru M., Cruz P., Theau J.P., 2010. A simplified method for characterising agronomic services provided by species-rich grasslands. *Crop and Pasture Science*, 61 (5), 420-433.

Médiène S., Valantin-Morison M., Sarthou J.P., de Tourdonnet S., Gosme M., Bertrand M., Roger-Estrade J., Aubertot J.N., Rusch A., Motisi N., Pelosi C., Doré T., 2011. Agroecosystem management and biotic interactions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31 (3), 491-514. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0009-1

Malézieux E., 2012. Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development*, 32 (1), 15-29. http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0027-z

Prost L., Cerf M., Jeuffroy M.-H., 2012. Lack of consideration for land-users during the design of agronomic models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 581-594.

Meynard J.-M., Messéan A. (coord.), 2014. *La Diversification des cultures. Lever les obstacles agronomiques et économiques.* Éditions Quæ, Versailles, 104 p.

Duru M., Justes E., Falconnier G., Journet E.-P., Triboulet P., Magrini M.-B., 2017. Analyse du concept de santé globale pour accompagner les transitions agricoles et alimentaires : application au cas des légumineuses. *Agronomie, environnement & sociétés*, 7 (1), 83-95.

Lemaire G., De Faccio Carvalho P.C., Kronberg S., Recous S. (eds), 2019. *Agroecosystem Diversity. Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality*. Elsevier-Academic Press, London, 464 p.

Pellerin S., Balesdent J., Debaeke P., Itier B., 2019b. La prise en charge de l'enjeu climatique dans les recherches du département. *In* : *Une agronomie pour le XXIe siècle* (Richard G., Stengel P., Lemaire G., Cellier P., Valceschini E., coord.). Éditions Quæ, Versailles, 70-89.

Duru M., Le Bras C., Grillot M., 2021. Une approche holistique de l'élevage, au cœur des enjeux de santé animale humaine et environnementale. *Cahiers Agricultures*, 30, 26. https://doi.org/10.1051/cagri/2021013

Meynard J.-M., Jeuffroy M.-H., 2021. Agroécologie et innovation. *In* : *La Transition agroécologique. Quelles perspectives en France et ailleurs dans le monde ?* (Hubert B., Couvet D., eds). Éditions Presses des Mines, 85-105.

Chapitre 5

L'innovation au cœur de l'histoire de l'agronomie

Jean-Marc Meynard, Chloé Salembier, Marianne Cerf

« L'agronomie est la science qui enseigne les moyens d'obtenir les produits des végétaux de la manière la plus parfaite et la plus économique » (de Gasparin, 1854, cité par Morlon, 2019). "Agronomy is focused on new and improved ways of agriculture"[1], ajoute le site de la Iowa State University. Contribuer au processus d'innovation, pour aider les agriculteurs à cultiver « de la manière la plus parfaite », est donc bien un enjeu majeur pour l'agronomie (Papy, 2006). Que ce soit dans la production agricole, le conseil, l'industrie d'amont et d'aval, l'action publique, l'enseignement ou la recherche, l'agronomie est mobilisée pour produire à la fois des connaissances utiles à l'action et des nouveautés (par exemple des règles de décision, des outils agricoles, des systèmes techniques), appelées à contribuer aux transformations de l'agriculture. Mais comment se sont construits, comment ont évolué les liens entre agronomie, nouveautés et processus d'innovation[2] ? C'est ce que nous nous proposons d'éclairer dans ce chapitre, dont l'ambition est de fournir, sur la base d'une mise en perspective historique, quelques clés de réflexivité à tous ceux qui s'intéressent à l'innovation en agronomie.

Ce chapitre abordera les relations entre agronomie et innovation au prisme de différents angles de vue : la nature des nouveautés qui émergent, les outils et les instruments de l'agronomie qui participent à leur émergence, les rapports entre les acteurs, les contributions particulières des agronomes et les postures qu'ils choisissent d'adopter pour innover. En définitive, nous nous intéresserons à la façon dont sont définis les *improved ways of agriculture* ou « la manière la plus parfaite de produire », souvent objets de débat, et dépendants des contextes sociopolitiques dans lesquels se déploie l'agronomie. Après avoir décrit la diversité des objets, des acteurs et des contributions à l'innovation, nous éclairerons l'évolution historique des manières d'innover. Nous montrerons alors que ce qui s'est construit dans l'histoire reste présent dans les principales tendances rencontrées dans la recherche-développement aujourd'hui. Puis nous ouvrirons quelques perspectives sur les futurs des relations entre agronomie et innovation.

1. « L'agronomie se concentre sur les nouveautés et les voies d'amélioration en agriculture. »
2. Dans la suite de ce chapitre, nous utiliserons le mot « innovation » pour désigner le processus d'innovation, mais parlerons de « nouveauté » pour évoquer le produit de ce processus.

▸▸ Diversité des objets, des acteurs et des contributions à l'innovation en agronomie

Évoquer l'innovation en agronomie, ce n'est pas uniquement pointer les objets nouveaux que les agronomes contribuent à produire, c'est aussi s'intéresser à la façon dont les agronomes travaillent avec d'autres acteurs pour faire émerger ces nouveaux objets. Comme dans tout processus d'innovation, c'est grâce aux contributions et aux collaborations d'une multitude d'acteurs que la nouveauté rencontre des usages et/ou des marchés.

Les objets de l'innovation en agronomie

Toute tentative de classification des objets de l'innovation en agronomie se heurte immanquablement à des difficultés, car les objets que traite l'agronomie sont souvent hybrides, avec une face matérielle (une variété, une machine) et une face immatérielle (un raisonnement, une règle, un indicateur). Nous avons choisi ici de présenter ces objets de l'innovation selon qu'ils sont plutôt au service de l'action conduite par les agriculteurs et leurs conseillers, de l'action d'autres acteurs, ou encore de l'essor des connaissances en agronomie.

Les nouveautés proposées par les agronomes aux agriculteurs concernent des intrants (formulations d'engrais ou de produits phytosanitaires, associations de variétés ou d'espèces), le matériel agricole (outils de travail du sol ou de récolte), des règles de décision et des outils d'aide à la décision pour raisonner les intrants, des combinaisons systémiques de techniques complémentaires (itinéraires techniques, systèmes de culture), des règles d'organisation des paysages (pour limiter les contaminations biologiques – spores, pollen – ou pour favoriser des auxiliaires de défense des cultures), des modalités d'organisation du travail ou de la gestion collective de ressources rares (règles de priorisation d'interventions dans un calendrier de travail chargé, principes et règles de gestion collective de l'eau d'irrigation). Les agronomes conçoivent aussi, avec des agriculteurs, des nouveautés pour innover dans les exploitations agricoles ou conduire le changement dans celles-ci : outils d'appui à la conception[3] de nouveaux systèmes de culture, indicateurs de diagnostic et tableaux de bord organisant la collecte et l'analyse de ces indicateurs, démarches de conduite du changement de système de culture ou de production (Prost *et al.*, 2017a), etc. Certaines des nouveautés issues de l'agronomie sont commercialisées, et visibles sur un marché (intrants, matériel, logiciels, conseil payant). D'autres, en revanche, comme les itinéraires techniques, les systèmes de culture ou les organisations collectives, font « diffusion libre », souvent informelle, et sont de fait moins visibles.

Les objets de l'innovation en agronomie s'adressent aussi à d'autres acteurs que les agriculteurs, par exemple : les sélectionneurs (mode d'emploi des variétés, idéotypes à privilégier pour un milieu ou un système de culture donné), les collecteurs et les transformateurs de produits agricoles (règles d'assemblage de lots collectés, cahiers des charges), les consommateurs (cahiers des charges de labels, indicateurs d'impact environnemental des produits issus de l'agriculture), les acteurs de l'eau (agencement de systèmes de culture ou outils d'appui à la conception pour améliorer la qualité des

3. Nous distinguons dans ce chapitre la conception, qui consiste à inventer une nouveauté qui n'existait pas auparavant, et la décision, qui consiste à choisir dans une gamme de solutions connues, préexistantes (Hatchuel *et al.*, 2013).

eaux de captages) ou encore les acteurs des politiques publiques (démarches pour l'évaluation des variétés avant inscription, règlements visant à réduire des pollutions ou à protéger la biodiversité).

Enfin, les agronomes innovent pour eux-mêmes, en vue d'accroître la pertinence de leurs diagnostics et de leurs connaissances : ils ont ainsi inventé les analyses de sol, la méthode du profil cultural, le diagnostic agronomique régional, les typologies d'exploitation ou la « traque » aux innovations. On se reportera aux chapitres 1 à 3 de cet ouvrage pour une vision plus complète de ces méthodes et outils. Il est important de souligner que, dans ce domaine, l'innovation a été constante, bien que parfois peu visible, cachée dans le *back-office* de l'agronomie.

Comme le montrent Duru *et al.* (2015a), dans des processus d'innovation visant une rupture avec l'existant, un enjeu consiste souvent à développer simultanément différentes nouveautés complémentaires. Meynard *et al.* (2017) et Salembier *et al.* (2020) parlent d'innovation couplée pour désigner un processus d'innovation où plusieurs nouveautés sont conçues et développées de manière coordonnée, alors qu'elles relèvent de domaines d'innovation habituellement gérés de manière indépendante (exemple dans l'encadré 5.1).

Les acteurs de l'innovation en agronomie et leurs rôles

Des acteurs très variés prennent part aux processus d'innovation impliquant l'agronomie et y jouent des rôles contrastés. Une première catégorie d'acteurs renvoie à ceux qui se reconnaissent derrière le vocable d'agronome, dans la mesure où ils s'appuient sur les méthodes, les outils et les concepts de la discipline, pour contribuer à l'innovation. Ces agronomes peuvent avoir des statuts professionnels variés : agriculteurs, agents de développement (chambres d'agriculture, Civam), techniciens ou ingénieurs de recherche-développement dans l'industrie d'amont ou d'aval (coopératives, agrofourniture), agents dans des administrations publiques (ministères, agences régionales de l'eau) ou encore dans les organismes de recherche (INRAE, Cirad, instituts techniques).

Une deuxième catégorie concerne les bénéficiaires des nouveautés en cours d'émergence. Leur rôle dans le processus est parfois limité à l'expression de leurs besoins, les cantonnant à un rôle passif de réceptionnaires des nouveautés. Aujourd'hui, de plus en plus, ces bénéficiaires sont mobilisés pour être parties prenantes du processus d'innovation (par exemple, on parle de processus de coconception). D'autres acteurs occupent des rôles variés pour contribuer à faciliter l'insertion de la nouveauté dans son environnement sociotechnique, notamment en assurant ses conditions de développement et d'existence. Par exemple, Le Bellec *et al.* (2012) ont travaillé de concert avec des agriculteurs, des chercheurs, des conseillers agricoles et ce qu'ils appellent « des acteurs publics » (représentants de l'État, des organisations professionnelles) pour construire localement les conditions d'émergence de systèmes agrumicoles économes en pesticides.

Enfin, l'agronomie est une discipline d'interface, profondément systémique (Sebillotte, 1974; Doré *et al.*, 2006), et elle entretient des relations étroites avec de nombreuses autres disciplines pour développer des connaissances nouvelles, clés de la réussite du processus d'innovation. Par exemple, au moment d'accompagner l'innovation dans les systèmes herbagers, Duru (2013) s'inspire de méthodes en sciences de gestion pour construire une dynamique collective d'innovation et produire des connaissances sur

Encadré 5.1. Exemple d'un processus d'innovation couplée accompagné par l'Atelier Paysan

Salembier *et al.* (2020) montrent que plusieurs nouveautés émergent de manière coordonnée au cours des processus d'innovation accompagnés par la société coopérative d'intérêt collectif Atelier Paysan. Le projet de cette structure est de soutenir la conception par les agriculteurs d'outils agricoles pour l'agriculture biologique, et adaptés à leurs situations, ce qui constitue un champ d'innovation jusqu'alors orphelin de travaux de recherche-développement.

Par exemple, l'Atelier Paysan a accompagné des agriculteurs qui souhaitaient concevoir des systèmes légumiers économes en temps de travail et en intrants (carburant, paillage plastique), et permettant d'améliorer la fertilité du sol. Pour ce faire, le collectif a innové simultanément dans quatre domaines :
– dans les systèmes de culture, par la combinaison originale de trois techniques : l'implantation d'un couvert végétal, le semis direct de la culture suivante et la culture en planches permanentes ;
– dans les outils, en imaginant, fabriquant et développant un outil nommé le « rouleau Faca Buzuk » (figure 5.1), qui permet de coucher le couvert végétal avant un semis direct sur butte ;
– dans des indicateurs (sol et peuplement végétal) permettant d'évaluer au champ les performances des systèmes de culture et de l'outil ;
– dans la proposition de documents destinés à une large diffusion (des plans d'outils agricoles, des fiches techniques sur la conduite d'un couvert végétal).



Figure 5.1. Illustration de la version 2 du rouleau Faca Buzuk.

Le Faca Buzuk est composé de 6 rouleaux aux lames tranchantes. Il est utilisé pour aplatir un couvert de culture et casser les plantes sur des planches permanentes (dessus, côtés). Le roulage est jugé efficace quand les plantes ne se relèvent pas et qu'une culture peut être semée en direct ensuite (source : www.latelierpaysan.org).

les modes de gestion des prairies. Il sollicite également des expertises en écologie et en zootechnie au moment de concevoir des systèmes herbagers adaptés à chaque ferme. Ainsi, des acteurs aux ancrages disciplinaires contrastés alimentent le processus, chemin faisant, de leurs connaissances, de leurs expertises et de leurs savoir-faire : cela permet aussi à l'agronomie d'enrichir la façon d'aborder ses objets ou d'en saisir de nouveaux (par exemple le bassin d'approvisionnement, Le Bail, 2012, ou le système socioécologique, Duru *et al.*, 2015a). Un enjeu aujourd'hui est de savoir comment organiser les relations entre ces différents acteurs, dont les rôles ont évolué dans l'histoire et qui peuvent changer au cours d'un processus d'innovation.

Les contributions des agronomes au processus d'innovation

Le processus d'innovation a fait l'objet de nombreuses études en sciences sociales. Ainsi Akrich *et al.* (1988) soulignent que « les scientifiques et les ingénieurs n'ont pas le monopole de l'imagination. [La nouveauté] peut aussi bien naître dans un centre de recherche que dans un service commercial, chez un client ou dans une usine. Puis [...] elle se transforme progressivement, à travers une série d'épreuves et d'expérimentations qui la confrontent aux savoirs théoriques, aux savoir-faire ou aux utilisateurs [...]. Le célèbre modèle linéaire, par lequel sont distinguées des étapes successives dont l'ordre chronologique ne peut être bouleversé, est le plus mal adapté qui soit pour rendre compte de ce mouvement erratique. Nous proposons de lui substituer le modèle tourbillonnaire qui permet de suivre les multiples négociations sociotechniques qui donnent forme à l'innovation ». Cette vision « tourbillonnaire » du processus d'innovation bouscule l'enchaînement recherche, puis conception, puis développement, puis industrialisation, et enfin mise sur le marché, tel qu'il est souvent mis en avant dans une logique de *technology readiness level*[4]. Ces tâches ne sont ni strictement successives ni précisément distinctes. Le processus d'innovation est caractérisé par des allers-retours permanents entre elles : c'est un processus collectif et interactif. Loin de reposer sur des connaissances et des compétences établies, le processus d'innovation stimule la production de nouvelles connaissances scientifiques ou/et techniques, et peut contribuer à enrichir les compétences des acteurs impliqués (Prost *et al.*, 2017a).

Meynard et Dourmad (2014) décrivent quatre modalités de contribution des agronomes à ce processus tourbillonnaire :
– ils peuvent être à l'origine de l'invention d'une nouveauté. La conception assistée par modèle informatique est par exemple souvent mise en œuvre dans ce but. Elle aide, entre autres, à identifier, simuler et optimiser les combinaisons de choix techniques qui

4. Toffolini *et al.* (2020) citent cette échelle TRL pour faire référence à "the widespread idea that innovation ensues from the accumulation of relevant scientific knowledge. This understanding of the relationship between knowledge and innovation is exemplified by the linear scale of the Technology Readiness Levels originally developed by NASA (Mankins, 1995), for instance, defined in INRAE strategic guidance documents as the scale which 'assesses the level of maturity of a technology from research at the laboratory prior to its commercialization or application'. Innovation is thus seen as an a posteriori way of valorizing the scientific knowledge produced" (« l'idée répandue que l'innovation découle de l'accumulation de connaissances scientifiques pertinentes. Cette conception de la relation entre connaissance et innovation est illustrée par l'échelle linéaire des TRL développée à l'origine par la NASA (Mankins, 1995), par exemple, définie dans les documents d'orientation stratégique d'INRAE comme l'échelle qui "évalue le niveau de maturité d'une technologie depuis la recherche en laboratoire jusqu'à sa commercialisation ou son application". L'innovation est ainsi considérée comme un moyen *a posteriori* de valoriser les connaissances scientifiques produites ».

remplissent un cahier des charges donné, en matière de production, de revenu, de travail ou d'impacts environnementaux (Meynard, 1998; Bergez *et al.*, 2010). Les modèles agronomiques permettent une exploration très large des combinaisons de techniques, bien au-delà de ce que les meilleurs experts connaissent, et informent le concepteur sur le comportement à long terme des systèmes qu'il imagine. D'autres méthodes peuvent également y contribuer (voir sur ce sujet le chapitre 2);
– ils peuvent proposer à différents acteurs des instruments et outils pour innover par eux-mêmes, ou pour adapter à leur propre situation des innovations exogènes. Les ateliers de conception (Reau *et al.*, 2012), par exemple, permettent de construire collectivement en salle des systèmes innovants. Cette démarche permet de valoriser la diversité des savoirs, associés à des métiers ou à des disciplines variées, et leur complémentarité. Elle met en œuvre des techniques d'animation spécifiques, visant en particulier à « défixer » les participants (c'est-à-dire leur faire explorer des nouveautés sortant des sentiers qu'ils explorent habituellement). Un autre exemple concerne l'appui à la conception pas à pas, où, par contraste, le système existant est graduellement modifié en s'appuyant sur des boucles d'apprentissage par l'action (Meynard *et al.*, 2012; Coquil *et al.*, 2014), pour aboutir à un système innovant qui n'était au départ ni connu ni prévisible. Le travail de conception est souvent initié par un diagnostic, qui permet d'identifier les points à améliorer et d'imaginer, pour ce faire, des changements de pratiques ou d'organisation;
– ils peuvent contribuer à identifier, analyser, améliorer, adapter et promouvoir des innovations conçues par des acteurs de terrain. Au cours de ces démarches, des nouveautés repérées dans d'autres fermes que la leur peuvent venir stimuler l'imaginaire d'agriculteurs engagés dans le changement, voire renouveler en profondeur les champs d'innovation explorés en recherche-développement (Salembier *et al.*, 2021). Ces nouveautés peuvent être de nouvelles façons d'envisager la gestion d'une culture, de nouveaux matériels conçus en ferme (encadré 5.1), mais elles peuvent aussi concerner l'ajout de nouvelles fonctions à des outils existants, ou encore des façons originales de les utiliser. Ainsi Cerf et Meynard (2006), en analysant comment des outils d'aide à la décision (indicateurs, modèles, kits de diagnostic, etc.) sont utilisés, montrent comment les agriculteurs et les organismes de conseil imaginent de nouveaux usages de ces outils, mieux ajustés à leurs propres contextes d'utilisation;
– enfin, ils peuvent aider à anticiper les impacts agronomiques et environnementaux des innovations, les conditions et les modalités de leur usage et leurs conséquences sur les performances de l'agriculture, à différentes échelles. C'est notamment dans cette optique qu'ont été développées des méthodes d'évaluation *ex ante* de variétés (Jeuffroy *et al.*, 2012), de systèmes de culture (Bockstaller *et al.*, 2009) ou du paysage (Allain *et al.*, 2017), et les méthodes de scénarisation (Hossard *et al.*, 2015).

Depuis l'émergence de l'agronomie en tant que science au XVIIIe siècle, la nature des connaissances mobilisées et les postures des agronomes ont considérablement évolué, en cohérence avec les objets de l'innovation, les méthodes et les concepts. Ce sont ces cohérences, fortement dépendantes des contextes historiques dans lesquels elles ont émergé, que nous proposons de décrire maintenant.

⏩ Une approche généalogique de l'innovation en agronomie

D'où émergent ces différentes postures, ces nouveautés, ces relations entre acteurs au moment d'innover? Cette section s'appuie sur les résultats de Salembier *et al.* (2018)

et Salembier (2019), lesquels proposent d'appréhender ces questions au travers d'une approche généalogique, c'est-à-dire en revenant aux racines de la construction des relations entre agronomie et innovation.

De nombreux travaux portant sur l'histoire de l'agronomie rendent compte de différents régimes de production de connaissances dans des contextes sociotechniques, politiques et scientifiques contrastés (Denis, 2001; Jas, 2001; Cornu, 2014; Knittel, 2007). Pour appréhender les relations entre agronomie et innovation, notre angle de vue s'est orienté sur les activités de conception dans ces régimes, à savoir la manière dont des agronomes ont, dans l'histoire, généré des prescriptions[5] pour l'action (c'est-à-dire des contenus agronomiques visant à faire évoluer les pratiques en ferme). Nous décrivons ainsi différents « régimes de conception » (Segrestin *et al.*, 2002; Le Masson *et al.*, 2017), caractérisés par une cohérence entre l'organisation du processus d'innovation, la nature des objets conçus, et les stratégies et les raisonnements de conception. Nous avons analysé ces régimes en étudiant des écrits d'agronomes[6] datés du XVIIIe au XXIe siècle, connus pour leurs inventions (par exemple la méthode du bilan, Jean Hébert) et ayant déjà fait l'objet d'études en histoire (par exemple Tillet, 1755; Denis, 2007). Pour chaque régime de conception, nous avons retracé le problème que cherche à gérer le concepteur, le processus de génération de prescriptions pour l'action (concepts et modèles conceptuels mobilisés – représentant le champ cultivé et l'action des agriculteurs –, instruments d'appui à la conception invoqués, etc.), la nature des prescriptions produites pour soutenir l'innovation en ferme (par exemple les règles d'action) et des traits de l'organisation du processus (en particulier les relations entre agronomes et agriculteurs).

Les cinq régimes de conception qui suivent sont décrits en relation avec les contextes historiques dans lesquels s'est construite l'agronomie[7]. Nous verrons plus loin que ces régimes, nés à différentes périodes de l'histoire, coexistent aujourd'hui.

L'innovation basée sur une science agronomique émergente : régime de conception 1

Le projet des agronomes du XVIIIe siècle est de mobiliser la science pour améliorer l'agriculture, une science qui se veut utile, s'appuyant à la fois sur l'étude des phénomènes de la nature et sur l'étude des savoirs et pratiques paysans (Denis, 2001). Ces premiers agronomes formalisent les méthodes expérimentales qu'ils mettent au

5. Un rapport de prescription existe dès lors qu'un acteur sollicite l'aide extérieure d'un prescripteur pour décider, agir, concevoir, etc. (Hatchuel, 1995; 2008). Dans cette perspective, l'opération de prescription résulte « de la combinaison d'un modèle de relation (ou d'interaction) entre personnes et d'un différentiel de savoirs » (Hatchuel, 2008). Nous proposons de considérer que les agronomes et les agriculteurs entretiennent des rapports de prescription, et en particulier que les agronomes génèrent des contenus prescriptifs qu'ils destinent à des agriculteurs pour les aider à décider, agir, concevoir, etc.

6. Comme le montre Denis (2001), dans l'histoire, différentes dénominations ont pu être employées pour se référer aux auteurs des écrits qui, à l'aide des moyens scientifiques modernes, se sont engagés dans l'appui à l'innovation agricole : agriculteurs, physiciens agriculteurs, agronomes, etc. Dans la suite de cette section, nous nous référons à ces auteurs sous le terme d'« agronome ». Le terme « auteur » sera employé pour nous référer aux auteurs des écrits que nous citons dans les tableaux 5.1 à 5.5.

7. Ce travail prend appui sur les travaux présentant des régimes de production de connaissances en agronomie, du XVIIIe au XXIe siècle. Nous renvoyons le lecteur aux références citées dans le texte, qui fournissent de très riches analyses sur différents régimes de production de connaissances en agronomie.

point, basées sur des essais comparatifs menés en plein champ. La formalisation des savoirs et des méthodes d'expérimentation traduit leur volonté de sortir de « l'ésotérisme » et de s'opposer à « la spéculation », qui marquent les écrits les plus courants. Jouve (2007) parle du développement d'un « empirisme raisonné ».

Une « science de l'agriculture » est en cours d'émergence et les agronomes de cette époque disposent de peu de connaissances formalisées, issues de travaux antérieurs, sur les problématiques qu'ils abordent (Denis, 2007). Souvent, le processus d'innovation implique de générer simultanément des connaissances sur les phénomènes naturels et sur les solutions techniques qui permettraient de gérer les problèmes rencontrés (Knittel, 2007). Ces premiers agronomes pratiquent eux-mêmes l'agriculture, souvent sur leurs propres domaines, et leurs écrits témoignent du fait qu'ils sont familiers des pratiques d'agriculteurs. Chacune des explorations qu'ils conduisent apparaît singulière, mais on peut cependant identifier quelques traits communs dans leurs démarches : tous s'appuient sur les écrits dont ils disposent concernant la problématique qu'ils traitent, souvent issus de sources variées (par exemple des ouvrages, des témoignages dans des journaux). Leurs lectures, enrichies des échanges qu'ils ont avec des agriculteurs comme de leur propre expérience, leur fournissent des pistes pour poser les bases de leurs explorations : à la fois des hypothèses sur les phénomènes naturels et des hypothèses sur les pistes d'action permettant de les gérer (tableau 5.1, compilant des citations d'auteurs du XVIIIe siècle). Au cours de leurs explorations, ces agronomes vont puiser dans différents champs de connaissances comme la botanique, l'entomologie ou la médecine pour interpréter les phénomènes qu'ils observent et affiner les concepts et les hypothèses qu'ils explorent. Une technique est jugée satisfaisante quand elle permet d'atteindre les résultats désirés, sans contraindre les agriculteurs (tableau 5.1). Un exemple de démarche d'innovation relevant de ce régime de conception est proposé dans l'encadré 5.2.

Des agriculteurs sont chaque fois impliqués dans le cours de l'exploration menée : on mobilise leurs témoignages, qu'ils soient oraux ou écrits, dans des journaux ou par voie épistolaire (par exemple, Duhamel du Monceau s'inscrit dans un réseau d'échange national) pour renforcer des hypothèses plausibles sur des relations entre des actions et des effets, et pour identifier de nouvelles techniques qui permettent de maîtriser certains phénomènes. Souvent, les auteurs s'appuient aussi sur ce qu'ils peuvent observer chez différents agriculteurs pour accroître le domaine de validité de leurs conclusions. Dans tous les cas, les agriculteurs sont invités à mener des expérimentations chez eux, et à faire parvenir aux agronomes des observations nouvelles qu'ils pourraient faire dans leurs situations (encadré 5.2).

L'innovation basée sur la chimie agricole : régime de conception 2

Un second régime de conception émerge vers le milieu du XIXe siècle, au moment où la chimie offre un nouvel angle de vue sur le champ cultivé et devient le prisme principal pour observer et analyser les phénomènes agricoles (Jas, 2001). « La chimie est la science de la métamorphose, l'agriculture qui transforme les matières minérales en matières organiques est une science chimique » (Dehérain, 1874, cité par Jas, 2001). Avec le soutien de l'État français, cette « agronomie chimique » se déploie dans des stations expérimentales départementales dotées de laboratoires d'analyse (Denis, 2007). Ce régime s'appuie sur les développements associés à la loi du minimum et sur la

Tableau 5.1. Citations extraites d'écrits relevant du régime de conception 1, et se rapportant aux intentions qu'avaient les auteurs au moment de s'engager dans le travail, aux explorations qu'ils ont menées au cours du processus de conception, et à la nature des contenus prescriptifs qu'ils ont générés à destination d'agriculteurs.

	Citations
Intention	« Convaincu qu'il est du devoir d'un véritable citoyen de diriger la science qu'il cultive vers le Bonheur de la société, j'ai toujours pensé que l'art des subsistances devait faire l'occupation la plus sérieuse […], mais il n'est pas assez de multiplier les ressources alimentaires, il faut encore que ces ressources exigent peu d'embarras et de dépenses dans leur préparation, qu'elles ne préjudicient ni à la qualité du sol qui les donne, ni à la constitution physique des individus pour lesquels elles sont destinées », Parmentier (1789, p. 2 et 3).
Processus de conception	« Comme je me suis proposé de rapporter toutes les expériences qui sont venues à ma connaissance, je ne dissimulerai point que M. Doixan […] a semé avec du froment infusé dans du jus de fumier, la moitié d'une pièce de terre […] on ne doit rien conclure d'une expérience, mais M. Doixan m'a promis de réitérer et de m'apprendre quel en sera le succès », Duhamel du Monceau (1750, p. xxvj). « Première observation. Les épis noirs et corrompus qui naissent sur des tiges différentes, mais tirent leurs racines d'un seul et même grain sont ordinairement noirs et gâtés. […] septième observation. Une touffe de blé, mise à dessein dans une terre détrempée continuellement, a produit beaucoup d'épis dans lesquels il ne s'est trouvé aucun grain qui fut noir et gâté », Tillet (1750, p. 16).
Contenus prescriptifs	« Il ne lui est pas possible d'éviter ce dernier inconvénient [la paille contaminée] […] la seule précaution que ce laboureur soit en état de prendre est celle de n'employer les fumiers, où entrent des pailles suspectes, qu'autant qu'ils seront parfaitement consommés », Tillet (1750, p. 148). « Le laboureur choisira à son gré celle [conduite de culture] qui lui paraît la plus avantageuse pour son terrain et pour l'emploi qu'il se propose de faire de ces racines », Parmentier (1789, p. 100). « Il est plus à propos de différer [le labour] après qu'on ait fait […] les blés ; 2. Parce qu'en le retardant un peu, les quantités de graines sont levées, et c'est autant de mauvaises herbes de détruites ; 3. Parce que les troupeaux profitent des pâturages que les chaumes leur fournissent ; 4. Parce que pour bien faire ce labour, il faut que la terre soit pénétrée d'eau afin que la charrue puisse piquer aussi tant que la qualité des terres le permet », Duhamel du Monceau (1762, p. 154).

notion de facteur limitant (Liebig, 1840). La loi du minimum stipule que « la vie des plantes est soumise à plusieurs conditions qui, pour chacune des espèces, sont particulières ; si l'on place une plante dans toutes ses conditions vitales hormis une seule [le facteur limitant], elle ne pourra pas se développer ». Sur ces bases, l'enjeu d'innovation consiste à maîtriser les facteurs limitants au champ, à l'aide d'intrants dont il s'agit d'optimiser l'usage localement. Avec la chimie, ce nouvel angle de vue sur le champ cultivé démultiplie les capacités d'innovation, et on assiste à l'émergence de nombreuses nouveautés, au premier rang desquelles se trouvent les engrais de synthèse, associés aux développements théoriques sur la nutrition minérale des plantes (Blondel-Mégrelis et Robin, 2002).

Encadré 5.2. Éléments sur les explorations de M. Tillet

Au long de son mémoire*, M. Tillet (1755) explore simultanément le phénomène qui produit le mal qui corrompt les grains de blé et les moyens de prévenir cet accident. Il identifie des redondances ou des contradictions entre des écrits d'auteurs connus et les témoignages d'agriculteurs qu'il recueille. Ce constat le conduit à s'interroger sur le mal qui corrompt les blés « qui noircissent », et il questionne l'hypothèse faite par les savants d'une origine climatique à cela. Pour avancer, au travers de nombreuses observations qu'il confronte aux dires de praticiens et savants, il propose de différencier plusieurs maladies des grains en décrivant leurs symptômes et en les nommant (blés avortés, charbonnés, cariés, échaudés, etc.). Il se focalise alors sur ce qu'il appelle « le blé carié », et présente ensuite, en détail, des « expériences », son protocole, ses erreurs, ses interprétations et ses résultats pour trouver des « moyens de prévenir cet accident ». Ses hypothèses de recherche construites à partir de ses analyses antérieures valorisent des pratiques de « laboureurs » (par exemple, certains appliquent des « préparations » : plonger les semences dans une lessive à base de chaux, « façon commode de nettoyer parfaitement le grain », ou bien choisir les semences, « précaution prise par les laboureurs de Picardie et dont ils ont reconnu l'utilité »). Il s'inspire des travaux de ses prédécesseurs et contemporains pour construire ses protocoles expérimentaux, basés sur des comparaisons de différents moyens pour contrôler le mal. Ses résultats lui permettent de conclure que c'est la « poussière noire » déposée sur les grains qui est responsable du mal, mais, compte tenu des moyens dont il dispose, il est incapable de savoir si cela vient de la poussière noire en elle-même et/ou d'une imperfection particulière du grain. Il réitère, ainsi, plusieurs expériences, formule de nouvelles hypothèses, et imagine de nouveaux moyens pour limiter la profusion de caries et les compare entre elles et aux résultats de laboureurs. Parmi ses conclusions, il expose des causes et voies possibles de dispersion de la maladie, en s'inspirant des travaux menés en médecine (travaux sur la syphilis), et identifie des « remèdes » visant à limiter ce mal, tout en pointant les questions ouvertes pour maîtriser la carie (par exemple, comment éviter la dispersion de la poussière au battage d'une gerbe ?). Il invite, dans ses précis, certains laboureurs à mener des expériences comme lui et explique « j'ai tâché de suivre son esprit d'économie [celui du laboureur], de me rapprocher un peu de ses usages, et de lui être utile sans le gêner ».

* Intitulé « La cause qui corrompt les grains de blé dans les épis et qui les noircit, avec les moyens de prévenir cet accident ».

C'est souvent l'observation de défauts de performance qui initie le besoin d'innover. Par exemple, dans les citations du tableau 5.2, Audoynaud (en vigne), Peterman et Corenwinder et Woussen (sur betterave sucrière) souhaitent générer des contenus prescriptifs permettant un usage optimal des engrais minéraux pour obtenir des rendements et une qualité jugés satisfaisants, en fonction des cultures et des environnements pédoclimatiques dans lesquels ils seront employés. C'est à partir de connaissances scientifiques disponibles que ces auteurs formulent des hypothèses sur les effets plausibles d'actions sur la chimie des sols et l'alimentation des plantes (par exemple, Petermann formule l'hypothèse que les modalités d'application des engrais chimiques – râteau, houe, bêche, etc. – peuvent affecter le pouvoir nutritionnel des engrais). Ces auteurs testent leurs hypothèses au travers d'expérimentations répétées

dans le temps, sur plusieurs parcelles, en général dans des stations expérimentales. Les outils analytiques de la chimie leur permettent de suivre et de juger les effets des techniques, et de produire les connaissances utiles à la définition des conditions optimales de leur usage (encadré 5.3).

Les prescriptions sont générées sous forme de « règles d'action », qui consistent en des liens prédictifs entre une action, une manière de la réaliser et des effets escomptés, donc qu'un agriculteur pourrait appliquer sur sa parcelle (par exemple, Corenwinder et Woussen préconisent d'utiliser « du sulfate de potassium pour un rendement et une contenance optimales en sucre de la betterave »). Dans ce régime de conception, les pratiques et l'expérience des agriculteurs ne sont quasiment jamais valorisées pour générer ces règles.

Tableau 5.2. Citations extraites d'écrits relevant du régime de conception 2.

	Citations
Intention	« Depuis deux ou trois années, l'emploi du nitrate de soude comme matière fertilisante a pris un développement considérable, ayant remarqué que cette matière favorise singulièrement la croissance des betteraves, les cultivateurs l'ont pris en grande faveur ; ils en ont utilisé des quantités exagérées, qui font grossir les racines outre mesure, les rendent impropres à la fabrication du sucre, nuisibles à la distillerie […] c'est pourquoi nous avons entrepris dès 1873 des expériences agricoles dans le but de connaître l'influence du nitrate de soude sur l'accroissement des betteraves […] et quelle quantité on peut en utiliser sans dommage pour la qualité de ces racines », Corenwinder et Woussen (1875, p. 7).
	« Si la plupart des fermiers sont convaincus de tous les avantages qui résultent de l'emploi rationnel de ces puissants auxiliaires de la culture intensive, il règne une grande incertitude et des opinions fort contradictoires quant à leur meilleur mode d'emploi. […] les très nombreuses consultations qu'on nous demande sur cette question, nous prouvent, en effet, la confusion qui règne et l'absence complète de données exactes pouvant servir de base de règles qui doivent nous guider dans le meilleur mode d'emploi des engrais artificiel pour la culture de la betterave à sucre », Petermann (1876, p. 242).
Processus de conception	« L'avantage qui résulte d'un emploi rationnel de l'engrais artificiel est encore plus saillant lorsqu'on exprime en argent les rendements obtenus dans les différentes conditions de l'expérience », Petermann (1876, p. 259).
	« Nous pouvons comparer les résultats du plant de Carignan à ceux du n° 4, 5 et 6 de nos expériences traitées par le carbonate de potasse, tous les trois ayant sensiblement le même poids […] ce sarment de l'école des Cépages contenait 0,058 de potasse, la moitié de ce que les nôtres contenaient. Nous ajouterons toutefois qu'ils avaient donné quelques raisins alors que les nôtres n'avaient rien produit », Audoynaud (1877, p. 58).
Contenus prescriptifs	« La potasse doit entrer dans la composition des engrais de la vigne, celle du sol étant généralement dans de mauvaises conditions d'assimilation ; la potasse entraîne en quelque sorte avec elle les autres principes fertilisants », Audoynaud (1877, p. 59).
	« Puisqu'il est prouvé que dans la majeure partie des cas on peut sans augmenter la dépense d'engrais, remplacer avantageusement une forte partie de ce nitrate par du superphosphate, ce serait une duperie de la part des fabricants de ne pas imposer cette règle, et une inconséquence de la part des cultivateurs de ne pas s'y conformer », Corenwinder et Woussen (1875, p. 11).

Encadré 5.3. Éléments sur les explorations de B. Corenwinder et H. Woussen

B. Corenwinder et H. Woussen (1875) souhaitent aider les agriculteurs à éviter qu'ils utilisent de manière « irrationnelle » le nitrate de soude qui induit des renflements sur les racines de betterave, les rendant impropres à la transformation. Par ce travail*, ils cherchent une manière d'employer des engrais sur cette culture qui assure un haut rendement et un taux de sucre élevé, sans augmenter les dépenses. Ils exposent les connaissances qu'ils rassemblent sur les facteurs influençant la richesse en sucre de la betterave (choix variétal, emploi judicieux des engrais), sur les engrais disponibles, leurs caractéristiques et performances. Dans un cadre expérimental, ils produisent des connaissances sur les relations entre l'emploi du nitrate de soude et la production de betterave, toutes réalisées en station, et reposant sur des hypothèses formulées à partir des connaissances acquises en chimie appliquée à l'agriculture. L'expérimentation compare les effets, sur une culture de betterave, de plusieurs modalités : témoin sans engrais et avec apports de différents engrais (nitrate de soude, sulfate ammoniaque, sulfate ammoniaque + phosphate fossile, etc.). Constatant que l'ajout de phosphate soluble au nitrate de soude conduit à des rendements très élevés et des betteraves ayant un « coefficient salin peu ordinaire », ils confrontent cela aux connaissances scientifiques pour mener de nouvelles expérimentations afin d'explorer l'influence de l'engrais contenant du superphosphate sur la croissance et la richesse de la betterave, ou encore l'influence de différents engrais sur les matières minérales contenues dans les jus des betteraves. C'est à partir de leurs observations et mesures et en s'appuyant sur des analyses chimiques qu'ils constatent par exemple que le « superphosphate » est plus efficace dans les sols pauvres, et proposent de « remplacer une partie des apports en nitrate de soude par de l'acide phosphorique pour augmenter les rendements sans augmenter la dépense ». Ils concluent ce travail en proscrivant l'usage du nitrate de soude seul. Ils proposent une règle, que les fabricants de sucre auraient selon eux tout intérêt à imposer aux cultivateurs, visant l'utilisation conjointe de nitrate et de superphosphate (qui n'augmente pas les coûts, assure des teneurs en sucre satisfaisantes, des poids de betterave élevés et limite la cristallisation du sucre).

* « Les engrais chimiques et la betterave, recherches faites à Houdain (Pas-de-Calais) ».

L'innovation de la phytotechnie : régime de conception 3

Après la Seconde Guerre mondiale, en France et plus largement en Europe, les projets pour l'agriculture, impulsés par les gouvernements, visent la modernisation rapide des exploitations agricoles pour atteindre l'autosuffisance alimentaire (Bonneuil *et al.*, 2008). « Le rôle de l'État doit être d'éduquer les producteurs […]. En particulier, il lui appartient de favoriser sur le plan technique toutes les améliorations capables de donner à l'immense labeur des praticiens son maximum de rendement avec le minimum de prix de revient. Ce rôle, il le remplira par le développement continu de la Recherche, de l'Enseignement, de la Démonstration et de la Vulgarisation. […] L'agriculture n'est plus comme autrefois un mode de vie, mais une véritable industrie biologique qui ne triomphera, dans la lutte de son existence, que si elle sait mettre à son service les immenses ressources de la Science » (Demolon, 1946). La création de l'Institut national de la recherche agronomique (Inra, en 1946) stimule la production de connaissances scientifiques dans de nombreuses disciplines (par exemple, physiologie végétale, phytopathologie, génétique) et, en relation, la génération de nombreux nouveaux intrants (pesticides, régulateurs

de croissance, variétés). À partir de 1952, les instituts techniques, organisés par espèce, génèrent des références à destination des conseillers des chambres d'agriculture et des coopératives, qui les disséminent notamment *via* des démonstrations en exploitation. Comme dans le précédent régime de conception, les travaux sont initiés dans l'optique d'optimiser l'usage local d'intrants nouvellement conçus hors des exploitations agricoles, avec l'enjeu de valoriser le potentiel de rendement de nouvelles variétés. Par exemple, les travaux de Jourdheuil, Koller et Hébert, évoqués dans le tableau 5.3 et l'encadré 5.4, portent respectivement sur l'optimisation de l'usage de pesticides sur colza, de régulateurs de croissance et d'engrais azotés sur blé.

Dans ce régime de conception, les auteurs ont accès à de nombreuses avancées scientifiques dans différentes disciplines connexes à l'agronomie (écophysiologie, malherbologie, sciences du sol, phytopathologie, etc.). Leurs travaux témoignent d'une sophistication dans leurs modèles conceptuels, qu'on peut décrire de la manière suivante : un intrant (dont l'usage doit être optimisé), pour gérer un facteur limitant (par exemple, un bioagresseur), soumis à divers facteurs de contingence du milieu (biotiques,

Tableau 5.3. Citations extraites d'écrits relevant du régime de conception 3.

	Citations
Intention	« On a décidé de s'orienter vers une autre méthode de lutte qu'on a appelée "la stratégie de lutte chimique dirigée". Dans cette méthode, on conservait la priorité aux méthodes chimiques de lutte, faute d'avoir d'autres moyens à notre disposition, mais la stratégie d'utilisation était modifiée. Il nous fallait trouver : des substances chimiques ou des procédés d'application qui soient à la fois plus efficaces et moins polluants pour l'environnement, utiliser des produits plus rationnellement dans le temps, de manière à ne pas être obligés de répéter plusieurs applications contre un même insecte, ne faire de traitement que dans la mesure où des risques de dégâts justifient économiquement des interventions », Jourdheuil (1977, p. 3-4).
	« La verse a toujours été pour le blé un accident redoutable […] elle est plus que jamais le principal facteur limitant du rendement », Koller (1969, p. 771).
Processus de conception	« En abordant la question de la quantité et du fractionnement de l'azote il faut bien penser que la taille et la sensibilité à la verse augmentent avec la dose d'azote », Koller (1969, p. 775).
	« La croissance et le développement du blé sont classiquement répartis en deux périodes : une période végétative allant de la germination à la différenciation de l'apex ; une période reproductrice. […] si la nutrition azotée est assez forte pour donner un tallage important, les besoins ultérieurs n'en sont que plus grands, d'où la nécessité d'une nutrition azotée soutenue […] *a priori,* dans un sol à l'équilibre, les fournitures d'azote doivent être égales aux gains », Hébert (1969, p. 755-759).
Contenus prescriptifs	« Pour contrôler les pucerons […], on se trouve devant un choix à faire entre deux options : dans les régions où les dégâts de pucerons ont un caractère endémique, on peut adopter une stratégie basée sur le fait que la colonisation se fait tôt. […] on peut aussi intervenir à un moment choisi en fonction du risque estimé », Jourdheuil (1977, p. 15).
	« En principe, la quantité d'engrais à appliquer à une culture de blé résulte de l'égalité suivante : besoin du blé + reste en terre à la récolte = reliquat minéral en fin d'hiver + azote minéralisé des résidus organiques récents + azote minéralisé du sol + engrais. […] fixer *a priori* un besoin revient à fixer un objectif de rendement », Hébert (1969, p. 759).

édaphiques, climatiques, etc.), et dans l'objectif de niveaux de performance jugés satisfaisants. Cette représentation témoigne d'une prise en compte accrue des dimensions de « la situation agronomique » dans laquelle doit être optimisée la technique considérée, en fonction de conditions du sol, du climat, et de l'historique de la parcelle. Les nouveautés le plus souvent générées par les agronomes de ce régime sont des règles de décision ou des outils d'aide à la décision qui prescrivent de manière normative l'usage d'un intrant dans différentes situations (par exemple, ce qu'on appelle aujourd'hui « la méthode du bilan » pour optimiser la fertilisation azotée au champ, Hébert, 1969, encadré 5.4). Dans les formations agricoles, la transmission de ces contenus prescriptifs, technique par technique et culture par culture, prend le nom de « phytotechnie spéciale » (Gailleton et Moronval, 2013 ; chapitre 7).

C'est d'abord à partir de l'organisation des connaissances scientifiques dont ils disposent que les agronomes de ce régime formulent des hypothèses de relations entre, d'une part, des caractéristiques du milieu et des modalités d'application d'un intrant et, d'autre part, des effets escomptés sur le sol ou la culture. Et c'est à partir d'expérimentations, réalisées en station ou en ferme, qu'ils valident ou revisitent les hypothèses formulées, ce qui induit souvent la recherche de connaissances complémentaires ou la réalisation de nouvelles expérimentations. La production de connaissances s'appuie principalement sur des expérimentations répétées. Comme dans le régime précédent, les pratiques et l'expérience des agriculteurs sont peu valorisées au cours des processus de conception. Deux avancées méthodologiques majeures façonnent ce régime, l'analyse de la variance, qui permet d'identifier, dans des expérimentations, des effets significatifs, et la modélisation mathématique, permettant la simulation et l'optimisation (Spiertz, 2014).

Encadré 5.4. Éléments sur les explorations de J. Hébert

J. Hébert (1969) s'intéresse à la fumure azotée du blé tendre d'hiver. Son travail* s'ancre sur le constat que celle-ci doit être rigoureusement adaptée à chaque culture, et tenir compte des espèces et variétés de blé. Dès lors, son travail vise à produire des règles pour adapter l'usage de la fertilisation azotée à différentes situations, et pour que les agriculteurs obtiennent des rendements élevés en blé tendre d'hiver. Il présente ensuite les connaissances scientifiques et techniques, concernant les effets de l'azote et du climat sur la croissance et le développement du blé, qu'il a rassemblées pour mener son exploration. Sur cette base, il identifie des « postes » à prendre en compte pour raisonner la fertilisation du blé (par exemple, quels sont les besoins du blé ? Quel est le reste après récolte ? Quel azote est fourni par les résidus culturaux ?), et construit un modèle de relations entre les connaissances fonctionnelles sur le blé, les apports azotés, et différents postes qui pourraient influencer l'effet attendu de l'azote sur la croissance et le développement du blé. Pour chacun de ces postes, il s'appuie sur la littérature et produit de nouvelles connaissances sur la manière de les évaluer, pour, dans une situation particulière, adapter la dose d'engrais à apporter. Ainsi, fixer un besoin revient à fixer un objectif de rendement. Apprécier l'azote minéralisable du sol implique, comme il le montre, de tenir compte à la fois du type de sol, de l'histoire culturale de la parcelle et du climat de l'année, et de s'appuyer sur des analyses chimiques. Il propose la méthode du bilan qu'il met à l'épreuve, et dont il valide l'efficacité en la testant sur deux champs de blé tendre caractérisés par des contextes de production contrastés.

* « La fumure azotée du blé tendre d'hiver ».

L'innovation de l'agronomie système, régime de conception 4

Les années 1970 voient l'apparition d'un nouveau régime de conception basé sur la critique des nouveautés techniques standardisées (Deffontaines, 1973; Osty, 1978) ne prenant pas suffisamment en compte la diversité des situations d'exercice de l'agriculture et les contraintes et objectifs des agriculteurs. Cette dynamique émerge à un moment où un nombre croissant d'acteurs relève une déconnexion entre la recherche et les agriculteurs (Cornu, 2014), et où apparaissent des préoccupations liées aux nuisances environnementales provoquées par l'agriculture. Les agronomes impliqués dans ce régime de conception revendiquent d'ancrer leurs travaux dans les exploitations agricoles (Sebillotte, 1974; Gras *et al.*, 1989) plutôt que dans des domaines expérimentaux. L'émergence de cette approche converge avec la dynamique internationale *Farming System Research* (Biggs, 1985; Norman, 2002), qui se donne pour objectif de comprendre la diversité des pratiques des agriculteurs et les raisons qui les sous-tendent, afin de contribuer à leur évolution.

Baser la production de connaissances et l'innovation sur ce que font des agriculteurs induit une complexification des raisonnements agronomiques. L'agronomie s'approprie la théorie des systèmes pour gérer la complexité (Sebillotte, 1974; Brossier *et al.*, 1990). Différentes collaborations avec des chercheurs en sciences sociales[8] se développent, notamment dans l'optique de considérer l'agriculteur et le fonctionnement de son exploitation comme des « objets d'étude » à part entière, mais aussi pour les inscrire dans les paysages agricoles et ruraux (Cornu et Meynard, 2020). De nouveaux champs de connaissances sont explorés, comme le fonctionnement de l'exploitation agricole (Osty, 1978), les processus de décision des agriculteurs (Brossier *et al.*, 1990) ou la spatialisation des pratiques (Morlon et Benoît, 1990). Et ces champs d'exploration s'accompagnent de l'invention de nouvelles méthodes de recherche : l'expérimentation système (Sebillotte, 1978b), le diagnostic agronomique régional (Boiffin *et al.*, 1982), la modélisation systémique (Bouman *et al.*, 1996), les typologies d'exploitation (Landais, 1996). De nouveaux concepts théoriques sont proposés : distinction entre techniques et pratiques (Landais et Deffontaines, 1988), modèle d'action de l'agriculteur (Sebillotte et Soler, 1988a), concepts d'itinéraire technique et de système de culture (Sebillotte, 1974; Zandstra, 1979), et, plus récemment, de coordination territoriale (Boiffin *et al.*, 2014).

Les agronomes de ce régime de conception travaillent sur des projets d'innovation qui prennent en compte à la fois la diversité des situations de production, les objectifs des agriculteurs et les interactions entre techniques (encadré 5.5). Ils s'intéressent aussi à l'organisation spatiale des situations de production, pour permettre la gestion des interdépendances à l'échelle de bassins d'approvisionnement ou de bassins-versants, en fonction des objectifs des opérateurs qui gèrent à ces échelles la production ou ses effets sur l'environnement. Ils conçoivent des itinéraires techniques ou des systèmes de culture répondant à différents jeux d'objectifs et contraintes d'agriculteurs et adaptés à différentes situations de production. Depuis la fin des années 1990, ils conçoivent aussi des modalités de coordination entre producteurs et gestionnaires à l'échelle de bassins. Les modèles conceptuels mobilisés dans le processus d'innovation se complexifient autour de représentations systémiques de combinaisons de techniques

8. En particulier dans le département Systèmes agraires et développement (SAD) de l'Inra; voir Cornu (2014).

qui interagissent entre elles et avec le milieu cultivé. Dans ces modèles conceptuels, on cherche à prendre en compte les acteurs, agriculteurs et gestionnaires de bassins (leurs objectifs, les spécificités de leurs exploitations ou de leur territoire) au-delà de leurs situations pédoclimatique, biotique ou matérielle (tableau 5.4). Les nouveautés conçues consistent en des combinaisons entre des choix techniques, des environnements probables, des cadres d'objectifs et de contraintes et des performances visées.

Tableau 5.4. Citations extraites d'écrits relevant du régime de conception 4.

	Citations
Intention	"The uniform crop management system recommended to farmers no longer copes with the diversity of growers and conditions. Farmers are asking for a wider range of cropping techniques, better adapted to the actual constraints, and cotton research has to develop innovative cropping strategies" (« Les modes de conduite des cultures recommandés aux agriculteurs ne sont plus en adéquation avec la diversité des producteurs et des conditions de production. Les agriculteurs souhaitent accéder à une plus large gamme de techniques culturales, mieux adaptées à leurs contraintes, et la recherche sur le coton doit ainsi développer des stratégies culturales innovantes »), Lançon *et al.* (2007, p. 101). « La diversité des exploitations agricoles, les incertitudes du marché et les risques de nuisances environnementales imposent de savoir cultiver le blé à des niveaux différents d'intrants », Meynard (1985, p. 5).
Processus de conception	"Previous research had produced numerous experimental results and wide expert knowledge on innovative techniques, e.g. stand density effects, growth regulator and protection strategies, which could hardly be included in the existing simulation models [...]. We adapted [the prototyping] approach in order to produce innovative Cotton Management Systems, which could integrate the full range of techniques available on the crop (including new varieties), and could be adapted to the diversity of constraints and goals of sustainable agriculture" (« Jusqu'ici, la recherche a produit de nombreux résultats expérimentaux et une grande expertise sur les techniques innovantes, c'est-à-dire sur les effets des densités de semis, des régulateurs de croissance, des stratégies de protection des cultures, qui sont difficilement intégrables dans les modèles de simulation existants [...]. Nous avons adapté la méthode [de prototypage] pour proposer des systèmes cotonniers innovants qui puissent intégrer toute une gamme de techniques disponibles (y compris de nouvelles variétés) et puissent être adaptés à une diversité d'objectifs et de contraintes d'une agriculture durable »), Lançon *et al.* (2007, p. 102).
Contenus prescriptifs	"Thanks to this approach, at least one specific intercrop was found to be a priori fully compatible for each farm type in order to reduce weed pressure and reduce pesticide use" (« Grâce à cette approche, au moins une interculture spécifique a été identifiée comme étant *a priori* compatible avec chaque type de ferme en vue de réduire la pression en adventices et l'usage des pesticides »), Blazy *et al.* (2009, p. 40). « L'imprécision des modèles utilisés, le caractère aléatoire ou non totalement maîtrisé d'événements subordonnent la construction des itinéraires techniques à un choix de risques à minimiser qui doivent être hiérarchisés, et imposent un suivi en temps réel de la culture pour vérifier l'application du programme », Meynard (1985). « Il n'est pas nécessaire de résoudre sur chaque parcelle ni même dans chaque exploitation l'ensemble des objectifs qualitatifs fixés à une production. La gestion adroite de la diversité à l'échelle d'un bassin de collecte offre des marges de manœuvre complémentaires des leviers mobilisables dans les exploitations agricoles », Le Bail (2012).

La génération des prototypes peut être appuyée par des simulations, ou bien réalisée à dire d'experts, et les prototypes générés sont souvent mis à l'épreuve au travers d'expérimentations « système » avant d'être proposés à leurs destinataires (encadré 5.5).

Encadré 5.5. Éléments sur les explorations de J. M. Meynard

Le travail de J. M. Meynard (1985) part du constat que la diversité des exploitations agricoles, les incertitudes du marché et les risques de nuisances environnementales imposent de savoir cultiver le blé de diverses manières*. Il explique qu'en changeant de niveau d'intrants, de choix de risques ou de type de contraintes imposées par l'exploitation agricole, tout l'itinéraire technique doit être reconçu. L'objectif du travail est de générer des « itinéraires diversifiés, répondant à des besoins variés d'agriculteurs » dans la région naturelle du Noyonnais (Oise). Une première étape de son travail consiste à confronter l'itinéraire technique optimal prescrit par les techniciens agricoles de la région aux pratiques des agriculteurs, qu'il recueille par entretien. Les écarts qu'il constate entre les deux sont généralement liés à des concurrences pour le matériel ou la main-d'œuvre, qu'il convient de prendre en compte dans la construction des itinéraires techniques. Il synthétise dans un modèle systémique les connaissances acquises sur les effets des techniques sur l'élaboration du rendement, et les résultats d'un diagnostic agronomique à l'échelle de la région. Il teste ensuite la valeur prédictive de ce modèle sur un échantillon indépendant de parcelles d'agriculteurs. Il se propose alors de construire deux itinéraires techniques de niveaux d'intrants différents et visant, dans les deux cas, à maintenir une marge brute aussi élevée que possible. Il explique qu'un préalable à la construction des itinéraires techniques est la définition d'un programme d'élaboration du rendement, soit le choix d'« états-objectifs » du peuplement végétal, liés aux composantes du rendement et qui seraient à atteindre dans chaque cadre de contrainte retenu. Il précise que « la construction des itinéraires techniques [est subordonnée] à un choix de risques à minimiser, et impose un suivi en temps réel de la culture pour vérifier l'application du programme ». Chacun de ces programmes permet ensuite de préciser les caractéristiques des itinéraires techniques prévisionnels qui seront mis à l'épreuve en expérimentation système.

* « Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver ».

L'innovation adossée aux théories de la conception, régime de conception 5

Depuis les années 1990 émerge un nouveau régime de conception qui donne aux agriculteurs une place centrale dans les processus d'innovation (Chambers *et al.*, 1989). Cette dynamique prend racine dans l'étude pluridisciplinaire des processus d'innovation, des relations entre connaissance et action (Beguin et Cerf, 2009), et dans la prise de conscience des limites des connaissances scientifiques, en particulier concernant les régulations biologiques dans un contexte local donné. Le processus d'innovation s'appuie alors sur la mobilisation de savoirs divers, d'origine scientifique et empirique, dans le but de concevoir des systèmes techniques adaptés aux situations et aux attentes de chaque agriculteur. De nouvelles démarches pour la conception de systèmes et de pratiques agricoles, appuyées sur les savoirs des agriculteurs, voient le jour : coconception dans des expérimentations systèmes (Husson *et al.*, 2016 ; Meynard *et al.*, 2012), conception pas à pas (Meynard *et al.*, 2012 ; Toffolini, 2016), ateliers de conception

participatifs (Reau *et al.*, 2012), jeux sérieux (Martin, 2015; Souchère *et al.*, 2010), traque aux innovations d'agriculteurs (Salembier *et al.*, 2016). Ces démarches stimulent des dynamiques d'apprentissage (Chantre *et al.*, 2015) ou de transition (Coquil *et al.*, 2014) des agriculteurs. La recherche s'appuie sur de nouvelles assises théoriques, telles que les théories de la conception ou celles des systèmes adaptatifs. L'émergence de ce régime de conception est stimulée en France par la demande, portée par une majorité de citoyens, une partie des agriculteurs et les pouvoirs publics, d'une gestion frugale des ressources et d'un resserrement des liens entre agriculture, alimentation et territoires, dans la perspective de favoriser une transition agroécologique.

Dans ce régime de conception, les processus d'innovation reposent sur de nombreuses interactions en collectif, au cours desquelles des agriculteurs, des chercheurs et d'autres acteurs (conseillers agricoles, administration locale, etc.) mutualisent leurs projets, leurs connaissances et leurs savoir-faire pour contribuer à la création de nouveautés. La nature de l'objet à concevoir (règle d'action pour une technique, itinéraire technique, système de culture, système d'exploitation, indicateurs de suivi de la qualité de l'eau, infrastructure paysagère, etc.) fait souvent l'objet de débats entre les acteurs impliqués. Les citations du tableau 5.5 et l'encadré 5.6 se rapportent à la conception de systèmes agricoles innovants (notamment en relation avec les enjeux agro-environnementaux) par des agriculteurs : Le Bellec *et al.* travaillent sur la réduction des usages de pesticides en production d'agrumes, Lefèvre et *al.* sur la gestion de la fertilité du sol, Moraine et *al.* sur la conception de systèmes de production mixtes en agriculture-élevage à l'échelle de territoires.

Contrairement aux autres régimes de conception, l'agronome n'est plus celui qui définit les propriétés et l'identité de la nouveauté à explorer : il participe au processus, par exemple en outillant les agriculteurs (animation d'ateliers de conception ou construction de guides d'appui à la conception; Attoumani-Ronceux *et al.*, 2011), ou en produisant, en collectant et en injectant des connaissances pour stimuler les explorations sur des questions particulières (Salembier *et al.*, 2020). Les propositions de nouveautés qui émergent sont discutées et évaluées collectivement, en relation avec les objectifs et intérêts du groupe ou de l'agriculteur qui s'en saisira (encadré 5.6). Les propositions sont mises à l'épreuve et adaptées lors de leur mise en œuvre dans les exploitations, ou dans des expérimentations-système conduites de manière participative, ou encore dans des dynamiques collectives à l'échelle d'une aire d'alimentation de captage ou d'un territoire.

Tableau 5.5. Citations extraites d'écrits relevant du régime de conception 5.

	Citations
Intention	"Stakeholders are involved: first, farmers, who are the initial and final designers as well as being responsible for and involved in daily agricultural practice; second, researchers, who provide scientific knowledge and conceptualize methods and tools; and third, agricultural advisers, who provide local technical knowledge and transfer scientific results to farmers. […] Different users need different assessment tools" (« Les porteurs d'enjeux sont associés. En premier lieu, les agriculteurs, qui sont les concepteurs initiaux et finaux tout en étant responsables ainsi que réalisateurs des pratiques agricoles quotidiennes. En deuxième lieu, les chercheurs, qui fournissent des connaissances scientifiques et formalisent des méthodes et des outils. En troisième lieu, les conseillers agricoles, qui fournissent des connaissances techniques locales et transfèrent les résultats scientifiques aux agriculteurs […] Différents utilisateurs ont besoin d'outils d'évaluation différents »), Le Bellec *et al.* (2012, p. 705 et 706).

	Citations
Processus de conception	"Step 1: seeking volunteer farmers […]. Step 2: institutionalizing the project […]. Step 3: identifying objectives […] Step 4: exploratory prototype design […]. Step 5: peer assessment of exploratory prototypes […]. Step 6: exchange of views on existing innovative situations and scientific knowledge […]. Step 7: designing prototypes, including constraints […]. Step 8: ex ante assessment" (« Première étape : rechercher des agriculteurs volontaires […]. Deuxième étape : institutionnaliser le projet […]. Troisième étape : identifier des objectifs […]. Quatrième étape : conception d'un prototype exploratoire […]. Cinquième étape : évaluation par les pairs de ce prototype […]. Sixième étape : échange de points de vue sur les situations innovantes existantes et sur les connaissances scientifiques […]. Septième étape : concevoir des prototypes en incluant les contraintes […]. Huitième étape : évaluation *ex ante* »), Lefèvre *et al.* (2013, p. 625).
	"Our methodology was applied within a group of organic farmers (south-western France) that we led through iterative sequences of diagnosis/design/assessment of a TCLS [territorial crop livestock systems]" (« Notre méthodologie a été appliquée au sein d'un groupe d'agriculteurs en agriculture biologique [sud-ouest de la France] au sein duquel nous avons réalisé des séquences itératives de diagnostic/conception/évaluation de systèmes de polyculture et élevage territorialisés »), Moraine *et al.* (2017, p. 341).
	"The aim is not to […] produce a new complete arable […] cropping system, which can be implemented on the farms after completion of a prototyping process. […] sustainable dynamics implies considering changes at larger scales (farm and region) as well as creating feedback and facilitating the active participation of all the stakeholders involved in the process. […] the DISCS method is a farmer-researcher co-design process that creates the conditions for an on-going dynamic relationship between agricultural and public stakeholders to build a solution that can continuously be adjusted to stakeholders' expectations" (« Le but n'est pas de […] produire un système de grande culture complètement nouveau, qui pourrait être mis en place sur les fermes à la fin d'un processus de prototypage […] une dynamique durable nécessite de considérer les changements à des échelles plus larges (la ferme et la région), ainsi que de créer des boucles retour dans le processus ou encore de faciliter la participation active de tous les porteurs d'enjeux […] la méthode DISCS est un processus de coconception entre agriculteurs et chercheurs qui crée les conditions d'une relation dynamique entre des porteurs d'enjeux du monde agricole comme des pouvoirs publics en vue de construire une solution qui peut s'ajuster continuellement aux attentes de ces porteurs d'enjeux »), Le Bellec *et al.* (2012, p. 705).
Contenus prescriptifs	"A ten-indicator-assessment tool, based on the criteria selected during the public workshop at step 2. […] Even before the end of the experimental trials (step 3), the prototype was put into practice by one citrus farmer in 2008. His positive feedback concerning the efficiency of the cover plant for weed control and the apparent lack of impact on fruit yield after 2 years encouraged two more citrus farmers to plant *N. wightii* as a ground cover before the end of 2010" (« Un outil d'évaluation à dix indicateurs, basé sur les critères sélectionnés lors de l'atelier public de l'étape 2. [...] Avant même la fin des essais expérimentaux (étape 3), le prototype a été mis en pratique par un agrumiculteur en 2008. Ses réactions positives concernant l'efficacité de la plante de couverture pour le contrôle des mauvaises herbes et l'absence apparente d'impact sur le rendement des fruits après 2 ans ont encouragé deux autres producteurs d'agrumes à planter *N. wightii* comme couverture végétale avant la fin de 2010 »), Le Bellec *et al.* (2012, p. 712).

Encadré 5.6. Éléments de l'exploration de Lefèvre *et al.*

Pour stimuler le développement de l'agriculture biologique en France, Lefèvre *et al.* (2014) soulignent l'enjeu d'impliquer les agriculteurs dans la conception de systèmes de culture adaptés à leur situation de travail*. Ils proposent de développer une démarche de conception en huit étapes, reposant sur la volonté d'hybrider les connaissances scientifiques avec celles d'agriculteurs, pour stimuler la conception de systèmes innovants situés et prenant en compte des critères de durabilité pour la société. Ils focalisent leur travail sur la thématique de « la fertilité du sol en AB ». La démarche se déroule de la manière suivante : après avoir identifié des agriculteurs motivés pour faire évoluer leurs pratiques (1), les auteurs ont organisé une réunion visant à « institutionnaliser le projet » (2) et favoriser la cohésion du groupe. Chaque agriculteur a choisi un ensemble d'objectifs à atteindre concernant la gestion de la fertilité du sol dans son exploitation (3). Un atelier de conception a ensuite été organisé, au cours duquel les auteurs ont aidé les agriculteurs à concevoir des systèmes de culture répondant à leurs objectifs (4). Ces systèmes ont ensuite été évalués qualitativement par le collectif, ce qui a donné lieu à l'identification de contraintes techniques associées à la mise en œuvre de ces systèmes dans les fermes (5). Deux nouveaux ateliers ont ensuite permis d'aider chaque agriculteur à adapter un système à sa situation (6 et 7). Par exemple, un agriculteur a choisi d'optimiser l'azote disponible en combinant recours aux prairies et aux associations d'espèces avec légumineuses dans sa rotation, et applications de fumier. Enfin, chaque système conçu a été évalué *ex ante*, avant sa mise en œuvre, de manière qualitative, sur la base des critères pour lesquels il avait été imaginé, ce qui a permis de discuter des résultats, de favoriser de nouveaux échanges dans le groupe et de l'améliorer si nécessaire (8). Ce processus a débouché sur le test de chaque système chez les agriculteurs concernés. Ces systèmes ont été suivis par les auteurs, au cours de leur mise en œuvre, pour produire des connaissances scientifiques sur les processus agronomiques en jeu.

* "Farmers and agronomists design new biological agricultural practices for organic cropping systems in France".

⏩ Mise en perspective des cinq régimes de conception

Dans chacun des régimes de conception que nous venons de présenter, des communautés d'agronomes se sont constitué un bagage théorique et une instrumentation partagée pour produire des connaissances et concevoir des nouveautés (tableau 5.6). Les concepts associés aux différents régimes (par exemple : facteur limitant, loi du minimum pour les régimes 2 et 3; itinéraire technique, mosaïque de systèmes de culture pour les régimes 4 et 5) cristallisent des représentations du monde, et configurent la nature des connaissances produites et des nouveautés qui leur sont associées. Ainsi, la loi du minimum dessine une agriculture où la plupart des problèmes peuvent être résolus par l'ajustement d'un intrant, et une agronomie écartelée entre différents spécialistes, chacun dédié à une famille d'intrants et de facteurs limitants (Cornu et Meynard, 2020). Les concepts d'itinéraire technique, de système de culture, de système d'élevage ou de système fourrager relèvent au contraire d'une représentation du monde où les interdépendances entre choix techniques sont nombreuses et doivent être prises en compte par les agronomes pour cadrer l'exploration de la complexité des modes de production. Les représentations du monde liées aux différents régimes

filtrent l'exploration de nouvelles techniques ou systèmes techniques (Hatchuel et Weil, 2008), dans le sens où elles contribuent à définir ce que l'on regarde et ce qu'on cherche à générer. Ainsi, comme le soulignent Barbier et Goulet (2013), resituer les concepts et instruments de production de connaissances dans le contexte de leur émergence nous invite à discuter de leurs intérêts et limites pour traiter les questions qui émergent aujourd'hui en agriculture.

Salembier *et al.* (2018) pointent la complexification croissante des modèles conceptuels d'un régime à l'autre, et notamment du 2 au 4, dans lesquels c'est avant tout l'agronome qui conçoit les propositions techniques innovantes. Cette complexification est justifiée par la recherche d'un gain de précision, en vue d'une adaptation de plus en plus fine de la prescription à la situation agricole. Cependant, ce gain de précision peut n'être qu'illusoire : la complexification d'un modèle numérique conduit à l'accroissement du nombre de paramètres et, corrélativement, de l'erreur du modèle liée à l'incertitude sur les paramètres (Passioura, 1996). L'enrichissement des modèles butte autant sur l'incapacité du modélisateur à s'assurer de la pertinence de nouvelles complexifications que sur les limites des connaissances permettant de prendre en compte les spécificités locales. L'approche systémique du régime 4 trouve certainement dans cette complexification des modèles ses principales limites. Dans le régime 5, en cours d'installation de nos jours, le nombre de processus pris en compte tend encore à s'accroître (on parle de systèmes alimentaires, de conception à l'échelle des systèmes socioécologiques), mais la manière de gérer la complexité, au cours du processus d'exploration puis de développement de nouveautés, passe par de nouvelles formes de répartition des efforts entre agronomes, agriculteurs et autres acteurs de l'agriculture. Cette nouvelle répartition prend davantage appui sur une organisation distribuée de la production de connaissances et du processus d'innovation (Joly, 2017; Girard, 2014).

Dans ces modèles conceptuels, Cerf et Meynard (2006) insistent sur l'enjeu de rendre explicites les représentations que les concepteurs ont de l'action des agriculteurs. Autrement dit, ils invitent à préciser la façon dont celui qui propose des « manières de produire » envisage ce qui pourra en être fait par des agriculteurs. Dans les différents régimes de conception, on peut rapprocher ces représentations de différentes figures d'agriculteurs-bénéficiaires : ceux-ci sont considérés respectivement dans les cinq régimes de conception comme expérimentateurs, applicateurs, optimisateurs, décideurs, et enfin concepteurs (Salembier *et al.*, 2018; tableau 5.6). Dans le régime 1, on fournit aux agriculteurs des principes d'action qu'on les invite à expérimenter et à mettre à l'épreuve dans leurs situations; dans les régimes 2 et 3, on met à leur disposition des règles qui leur indiquent comment appliquer une technique au champ, ou optimiser son usage dans différents environnements biophysiques; dans le régime 4, on fournit aux agriculteurs des combinaisons de techniques, adaptées à différentes situations de production, parmi lesquelles on leur propose de choisir celle qu'ils jugent la meilleure. Et, dans le régime 5, on cherche plutôt à stimuler l'exploration des possibles par les agriculteurs eux-mêmes, tout en s'attachant à les accompagner dans la mise à l'épreuve (en situation réelle ou simulée) des solutions qu'ils ont imaginées.

Les encadrés 5.7 et 5.8 donnent deux exemples concrets de la manière dont le passage d'un régime à l'autre a conduit à faire évoluer tant la nature des nouveautés que l'implication des agriculteurs dans le processus d'innovation, pour ce qui concerne la fertilisation azotée des grandes cultures et la protection contre les bioagresseurs.

Tableau 5.6. Traits des processus de conception dans les différents régimes de conception en agronomie.

Régime de conception (année)	Approches pour produire des connaissances	Instruments emblématiques de production de connaissances	Étude de pratiques d'agriculteurs
1 (1750…) L'innovation basée sur une science agronomique émergente	Approches holistiques	Expérimentations en ferme, observations au champ	Pas de méthode formalisée : échanges physiques informels, interactions par voie épistolaire, témoignages d'agriculteurs trouvés dans des journaux
2 (1850…) L'innovation basée sur la chimie agricole	Approches analytiques	Expérimentations en station et en ferme, analyses chimiques	Pas d'études de pratiques
3 (1950…) L'innovation de la phytotechnie	Approches analytiques	Expérimentations en station et en ferme, instruments de différentes disciplines analytiques, statistiques fisheriennes	Pas d'études de pratiques
4 (1970…) L'innovation de l'agronomie système	Approches systémiques	Expérimentation système, modélisation systémique	Méthodes formalisées : études de pratiques, typologies d'exploitation, modélisation des décisions, diagnostic agronomique
5 (2000…) L'innovation pour la transition agroécologique	Approches systémiques	Ateliers de conception, expérimentations système participatives (…)	Méthodes formalisées : étude du changement dans les pratiques, étude de pratiques innovantes (…)

Les (…) signifient que différentes propositions émergent aujourd'hui (extrait de Salembier, 2019).

Encadré 5.7. La fertilisation azotée des grandes cultures, d'un régime de conception à l'autre

Comme le montre l'encadré 5.3, la fertilisation minérale azotée est déjà une technique clé dès la fin du XIXe siècle. Jusqu'à l'orée des années 1980, les doses recommandées sont estimées sur la base de la moyenne des doses optimales par type de situation culturale (par exemple par précédent et type de sol) dans une région donnée. Ces doses optimales sont générées au travers de nombreux réseaux d'expérimentations, couvrant une très grande diversité de situations. On est bien dans le régime 2, où l'expérimentation technique par technique est reine, et l'agriculteur considéré comme un applicateur de règles définies par les agronomes. La méthode du bilan, innovation de rupture majeure mise au point dans les années 1970, conduit à redéfinir le rôle de l'expérimentation (régime 3, encadré 5.4) : les connaissances théoriques sur le cycle de l'azote sont organisées dans une modélisation de la réponse à l'engrais, et c'est le modèle qui permet d'optimiser la fertilisation ; les expérimentations ne sont plus là pour estimer la dose optimale, mais pour vérifier la validité du modèle, c'est-à-dire pour vérifier qu'on atteint bien le rendement visé à la dose calculée. L'approche n'est cependant pas encore systémique et reste centrée sur la fertilisation, indépendamment d'autres

Contributions des agriculteurs au processus d'innovation	Figure d'agriculteur usager	Contenus agronomiques générés
On implique des agriculteurs pour : la formulation du problème de conception et d'hypothèses, pour enrichir les connaissances au cours du processus (sur des phénomènes naturels, des techniques, etc.)	Agriculteurs expérimentés	Principes d'action
On implique des agriculteurs pour : la formulation des problèmes qu'ils/elles rencontrent	Agriculteurs applicateurs	Règles d'application d'une technique (règles d'action)
On implique des agriculteurs pour : la formulation des problèmes qu'ils/elles rencontrent	Agriculteurs optimisateurs	Règles (outils) d'optimisation d'une technique
On étudie des pratiques pour identifier des régularités : définir des cadres d'objectifs et de contraintes, cartographier et classer la diversité des pratiques par types	Agriculteurs décideurs	Combinaisons de règles de décision adaptées à des types de ferme (itinéraires techniques, systèmes de culture)
Coconception avec des agriculteurs, conception distribuée, études de pratiques innovantes (...)	Agriculteurs concepteurs	Outils d'aide à la conception (...)

techniques. Dans les années 1990 et 2000, le développement des approches systémiques permet d'enrichir progressivement le bilan, dans la logique du régime 4. Il s'agit d'abord de prendre en compte les interactions entre fertilisation azotée, semis et protection phytosanitaire : par exemple, un semis dense et précoce, une fertilisation azotée non limitante, contribuent à accroître le rendement, mais aussi les risques de verse et de maladies, et donc l'utilisation de pesticides. Des itinéraires techniques du blé à bas niveau d'intrants (semis tardif ou peu dense, fertilisation azotée réduite, pas ou peu de traitements fongicides et régulateurs de croissance) sont mis au point (encadré 5.5), revisitant le bilan en relation avec le reste de l'itinéraire technique. Il s'agit ensuite de renforcer cette dimension systémique en développant des outils de pilotage : qu'il s'agisse de Jubil®, de FarmStar® ou d'APPI-N, le pilotage de la fertilisation par un indicateur de nutrition azotée des plantes permet de gérer la dynamique d'apport d'engrais, en cohérence avec la dynamique d'élaboration du rendement et de la qualité. La fertilisation azotée du régime 5 reste à inventer, mais on peut considérer que l'accent mis dans la méthode APPI-N sur la capitalisation des apprentissages que réalisent les agriculteurs, tout au long du cycle, grâce au suivi de la nutrition azotée des plantes, constitue un premier pas vers un raisonnement participatif, adapté et adaptable de la fertilisation.

Encadré 5.8. La protection contre les bioagresseurs, d'un régime de conception à l'autre

Dans la période qui court des années 1950 aux années 1980, les pesticides constituent la pierre angulaire de la lutte contre les bioagresseurs : quand un bioagresseur (maladie, insecte, adventice) est détecté, on préconise de traiter ; et si on n'a pas de solution chimique disponible, on en cherche une, avec la volonté d'homologuer le plus rapidement possible des produits efficaces. L'innovation est alors dans la nouvelle matière active, dans le nouveau produit commercialisé, et dans la règle ou l'outil d'aide à la décision visant à positionner au mieux le traitement. On est bien dans le régime 3 : à chaque facteur limitant est associée sa technique, raisonnée indépendamment des autres techniques. Le développement, à partir des années 1980, des approches systémiques du régime 4 fait progressivement évoluer cette situation dans deux voies opposées :

– d'une part, vers des systèmes de culture raisonnés sur un objectif de maximisation de la rentabilité à court terme (rotations courtes, semis très précoces, fertilisation azotée soutenue, etc.), qui deviennent de plus en plus favorables aux bioagresseurs et imposent l'accroissement du nombre de traitements, voire leur systématisation. La conduite intensive du blé ou les exploitations maraîchères hyperspécialisées liées à des circuits longs constituent des modes de production emblématiques de cette voie d'innovation systémique ;
– d'autre part, vers des systèmes de culture basés sur les principes de la protection intégrée, qui visent à réduire les risques en amont de l'arrivée du bioagresseur sur la culture, en jouant sur la diversification des rotations et des assolements, le choix de variétés résistantes, le décalage de certains semis, les associations d'espèces, etc.

Aucune de ces techniques n'est aussi efficace que les pesticides pour contrôler les bioagresseurs, mais, combinées entre elles, elles permettent de réduire considérablement l'usage des pesticides (utilisés en dernier recours), voire de les supprimer. La protection intégrée, développée d'abord en agriculture biologique, s'étend aujourd'hui à l'agriculture conventionnelle, sous l'effet du plan Écophyto et d'une prise de conscience de la nocivité des pesticides. Les agronomes mettent ainsi au point une diversité de combinaisons techniques pour la maîtrise des bioagresseurs, basées sur la connaissance croissante des relations entre pratiques agricoles et dynamique des populations d'adventices, de parasites et d'auxiliaires, à l'échelle de la parcelle et du paysage. Ils s'appuient de plus en plus, dans la logique du régime 5, sur l'inventivité des agriculteurs, en identifiant des stratégies inédites de protection des cultures par la « traque » aux innovations, ou en proposant un appui méthodologique à la conception en ferme.

Ces cinq régimes de conception archétypiques, apparus dans des contextes historiques particuliers, offrent aujourd'hui encore des repères pour discuter des relations entre innovation et agronomie (Salembier *et al.*, 2018 ; Salembier, 2019). Par exemple, de nombreuses nouveautés sont de nos jours produites selon les traits du régime de conception 2 : l'enjeu y est de rationaliser l'usage d'un nouvel intrant pour maîtriser un facteur limitant, en s'appuyant essentiellement sur des connaissances scientifiques ; les agronomes valident ensuite les règles d'utilisation de cet intrant au travers d'expérimentations (Brandsæter *et al.*, 2012). Le régime de conception 3 se retrouve aujourd'hui dans les nombreux travaux qui proposent de nouveaux outils d'aide à la décision, visant à optimiser de plus en plus précisément l'usage d'intrants

au champ (encadrés 5.7 et 5.8). Ces outils sont souvent développés sans prendre en compte les interactions avec d'autres techniques (Lindblom *et al.*, 2016). La conception de systèmes de culture (comme dans le régime de conception 4) fait l'objet d'un nombre croissant de travaux actuellement, et les capacités d'exploration de systèmes techniques sont accrues par le développement de nouveaux outils informatiques (Bergez *et al.*, 2010, pour le cas de modèles biodécisionnels; Leenhardt *et al.*, 2010, pour les modèles spatialement explicites). On peut d'ailleurs, en prolongeant l'analyse d'Aulagnier et Goulet (2017), résumer la recherche de solutions pour réduire les pesticides, dans le cadre du plan Écophyto, à une compétition entre, d'une part, les régimes 2 et 3, dans lesquels s'inscrivent les solutions de biocontrôle (sans volonté affirmée de prendre en compte les interactions avec les autres techniques, et basées essentiellement sur des avancées technoscientifiques), et, d'autre part, les régimes 4 et 5, dans lesquels s'inscrivent les solutions de la protection intégrée (combinant de manière systémique plusieurs techniques de lutte, et souvent basées sur l'expérience des agriculteurs; encadré 5.8). Il nous semble enfin que le régime 1 s'incarne actuellement dans les nombreuses expérimentations et observations de la biodynamie ou de la permaculture (Ferguson et Lovell, 2014), réalisées en dehors des canaux institués de la recherche-développement, et basées sur un projet de renouvellement profond des corpus de connaissances de l'agronomie.

Cette coexistence, parfois harmonieuse, parfois conflictuelle, des cinq régimes de conception historiques conduit certains agronomes à revisiter et à enrichir leur approche de l'innovation, en faisant évoluer les usages des concepts, des approches et des instruments de production de connaissances issus des différents régimes (le diagnostic agronomique, l'expérimentation en station, etc.), voire en les hybridant (Cardoso *et al.*, 2001 ; Husson *et al.*, 2016). Une piste, pour des recherches à venir, serait d'explorer les formes d'hybridation entre des régimes de conception qui émergent aujourd'hui, pour faire face aux enjeux contemporains et soutenir le développement de processus de conception innovante, moteurs de transitions.

⏩ Une vision contemporaine de l'innovation en agronomie pour préparer l'avenir

Cette dernière section propose, en s'appuyant sur les trois précédentes, d'esquisser des pistes d'avenir pour les relations entre innovation et agronomie. Nous adopterons successivement trois angles de réflexion, qui sont aujourd'hui les principales sources de débats dans la communauté agronomique quant aux évolutions de sa contribution à l'innovation : l'essor de l'agriculture numérique, les processus d'innovation ouverte et l'accompagnement des dynamiques de transition.

Le numérique, pour quelle innovation ?

La relation entre agronomie et agriculture numérique est complexe, et passionnée[9]. D'un côté, les enthousiastes, qui considèrent que « le numérique est une rupture comme l'humanité en a peu connu », et qui mettent en avant les potentialités d'innovation offertes

9. Voir par exemple les débats dont fait état la revue *Agronomie, environnement & sociétés*, qui a consacré un très intéressant numéro spécial en 2018 à « Agronomie et agriculture numérique : ce qui change pour les agronomes ».

par la diversité des applications des technologies de l'information, de la communication et de la robotique en agriculture (Pillaud, 2018). De l'autre côté, ceux qui mettent en avant le coût élevé de ces technologies, les pertes d'autonomie de décision qu'elles entraînent pour les agriculteurs, et la privatisation des données qui les sous-tend. « Les enquêtes de terrain seront-elles encore possibles ? », ajoute Lanquetuit (2018).

Tout cela est vrai : le numérique est à la fois une promesse d'innovation agronomique et un vecteur de surendettement ; à la fois source d'une révolution dans le conseil et d'une perte de souveraineté. Jeanneaux (2018) souligne le « besoin impératif de débat critique sur l'agriculture numérique et ses conséquences sur l'autonomie de la décision, l'organisation des activités et le conseil ». Réchauchère *et al.* (2018) ajoutent : « La révolution numérique en agriculture pose un défi à tous les agronomes, que ceux-ci évoluent dans le milieu économique, dans le monde de la recherche ou du développement ou de l'action publique. »

Pour nourrir ce débat, et aider les agronomes à relever ce défi, nous proposons de décliner les innovations de l'agriculture numérique sous l'angle des régimes de conception : nous défendrons l'idée que l'agriculture numérique offre des potentialités différenciées selon le régime dans lequel s'inscrivent ses nouveautés.

Une première catégorie de nouveautés s'inscrit clairement dans le régime 3 (l'innovation basée sur la phytotechnie). Leur objectif explicite est d'ajuster les techniques à l'état des plantes ou du milieu, le plus précisément possible, à l'aide de capteurs, renseignant des variables agronomiques et leur évolution. Les capteurs embarqués sur des satellites, des drones ou des tracteurs fournissent déjà actuellement des masses d'informations, potentiellement utiles, après analyse, pour ajuster les interventions techniques, dans le cadre de ce qu'il est convenu d'appeler « agriculture de précision ». La modulation intraparcellaire des interventions, basée sur la spatialisation de signaux détectant, par exemple, les variations de profondeur de sol ou la présence d'adventices, constitue un exemple bien connu. La contribution de l'agronomie à ce type d'innovation est de produire les algorithmes faisant correspondre signal et intervention. Comme le souligne Grenier (2018), « l'objectif à terme est de transmettre directement les références obtenues aux outils informatiques embarqués du tracteur pour que la fertilisation ou les traitements fongicides et herbicides se programment d'eux-mêmes à la bonne dose et au bon endroit ». On retrouve là les traits des innovations du régime 3 : une prescription normative, basée sur des algorithmes générés *ex situ* ; un raisonnement technique par technique, culture par culture ; une absence de prise en compte des savoirs des agriculteurs. Les références utilisées pour la modulation sont issues d'expérimentations qui peuvent être démultipliées grâce aux capteurs de rendement. Ce type d'innovation s'inscrit dans une dynamique qui a sa logique, celle d'un conseil homogène qui se veut massif, et repose sur l'hypothèse d'une évolution des modèles agronomiques leur permettant de rendre compte de la diversité des situations d'exercice de l'agriculture.

L'inscription du numérique dans le régime de conception 4 reste largement à construire. Dès 1989, Meynard et Sebillotte pointaient l'importance de travailler à l'insertion des innovations issues de la robotique ou des capteurs dans les itinéraires techniques et systèmes de culture. Pourtant, ce domaine reste aujourd'hui sous-investi. Une piste de travail prometteuse serait d'utiliser les capteurs dans une logique de diagnostic agronomique, et pas seulement de pilotage. Le diagnostic agronomique constitue en effet un pilier de l'approche systémique du champ cultivé (Boiffin *et al.*, 1982), permettant d'en

enrichir les modèles conceptuels. Le numérique pourrait alléger considérablement le recueil de données nécessaire à la réalisation de diagnostics, rendant leur mise en œuvre plus aisée. Un exemple en est donné par Ravier *et al.* (2018), qui proposent d'utiliser les données de statut azoté du blé, recueillies pour déclencher les apports d'engrais, comme sources d'apprentissage et de diagnostic de la pertinence des règles de fertilisation (encadré 5.7). Une autre piste de travail concerne les imposantes bases de données (*big data*) dont se nourrit l'agriculture numérique. Elles sont, le plus souvent, analysées pour mettre en évidence des tendances marquantes (Lechenet *et al.*, 2017), plus que des interactions ou des propriétés émergentes, essentielles pour comprendre le fonctionnement des agroécosystèmes. De fait, il existe une tension entre les approches systémiques compréhensives et les modalités de construction de ces bases de données : les variables que contiennent celles-ci sont définies *a priori* (avant l'analyse), alors que l'approche systémique repose sur des allers et retours entre observations, analyse de données, construction d'hypothèses et identification de liens de cause à effet. De nouvelles méthodes de travail sont à inventer pour mettre en synergie systémique *big data* et intelligence artificielle, et des avancées récentes dans d'autres secteurs pourraient nous y aider (par exemple, dans le milieu industriel, Kazakci *et al.*, 2014).

Enfin, le numérique contribue d'ores et déjà fortement à la dynamique d'innovation pour la transition agroécologique du régime 5. En effet, les réseaux sociaux, les forums d'échanges entre agriculteurs, les outils web interactifs de partage de connaissances (Agropeps-GECO, Guichard *et al.*, 2015 ; AgriCool, Prost *et al.*, 2017b) sont précieux pour partager les savoirs et les expériences dans des processus d'innovation ouverte. Le développement de jeux sérieux, souvent basés sur des interactions entre acteurs autour de modèles informatisés, constitue une autre contribution du numérique au régime 5, stimulant la mobilisation et l'envie de changer des acteurs, et la construction d'apprentissages collectifs (ComMod, Souchère *et al.*, 2010 ; Rami Fourrager, Martin, 2015 ; Segae[10], Jacquot *et al.*, 2020).

L'innovation ouverte, avec qui et comment ?

Le régime de conception 5 (l'innovation adossée aux théories de la conception) met en lumière l'importance de la multiplicité des sources de connaissances pour faire face aux enjeux de la transition agroécologique, tout en affirmant la place de concepteur de l'agriculteur. Pour cela, les agronomes explorent, en s'appuyant sur les travaux de sciences humaines et sociales, deux nouvelles voies pour ouvrir le processus d'innovation à une multiplicité d'acteurs : une voie qui privilégie des organisations centrées sur les bénéficiaires des nouveautés générées (Cerf *et al.*, 2012b ; Lacombe *et al.*, 2018) et une voie qui se rattache plus aux formes d'organisations distribuées du processus d'innovation, décrites par Chesbrough et Bogers[11] (2014) sous le nom d'*open innovation*.

Dans le cas des organisations centrées « bénéficiaires », l'accent est mis sur le fait que les agriculteurs, loin d'adopter telles quelles des nouveautés exogènes (par exemple des systèmes de culture conçus par des agronomes), conçoivent dans leur ferme leurs

10. https://segae.agrocampus-ouest.fr/objectives

11. Ces auteurs définissent l'*open innovation* comme "a distributed innovation process based on purposively managed knowledge flows across the boundaries of functional structures" (« un processus d'innovation distribué basé sur des flux de connaissances gérés de manière intentionnelle au-delà des limites des structures fonctionnelles »).

propres solutions, en mobilisant à la fois des connaissances, des outils et des prototypes de systèmes techniques proposés par la recherche-développement, les expériences de leurs pairs et leurs propres apprentissages (Chantre *et al.*, 2015 ; Toffolini *et al.*, 2016 ; Catalogna *et al.*, 2018). Cette conception n'est pas détachée de la mise en place et du test de solutions dans un dialogue avec la situation (Schön, 1983). Elle est stimulée par la nécessaire réussite de l'action et par la motivation de l'agriculteur, comme cela a été montré tant dans le secteur agricole que dans d'autres secteurs (Béguin et Cerf, 2009). Un front de recherche interdisciplinaire, aujourd'hui, consiste à explorer des formes d'organisation permettant de soutenir la conception des agriculteurs dans leurs propres contextes d'exercice de leur métier.

Dans le cas des organisations dites « distribuées », l'accent est mis sur la manière dont sont réparties les tâches et les connaissances entre acteurs parties prenantes de processus d'innovation (Darses et Falzon, 1996 ; Chesbrough et Bogers, 2014 ; Prost *et al.*, 2017a), chaque acteur (agriculteur, organisme de recherche, de recherche-développement ou de conseil, société d'agrifourniture ou de transformation, collectivité locale, organisme de protection de l'environnement, consommateur) contribuant, à sa façon, à la génération d'outils, de prototypes, de modes de production, de cahiers des charges, etc.

On assiste ainsi, sous l'effet de ces deux ouvertures, à une mutation dans les manières d'innover au sein du monde agricole, illustrée par la montée en puissance des forums et des outils web interactifs, le développement de réseaux d'innovation mettant les agriculteurs au centre (GIEE, BASE, etc.), l'attention portée par la recherche-développement aux innovations d'agriculteurs, pour favoriser le changement chez d'autres agriculteurs (traque aux innovations, Atelier Paysan, etc.), l'émergence des *living labs*[12] territoriaux, l'implication de consommateurs, aux côtés des agriculteurs et des industriels, dans la construction de filières innovantes, ou l'investissement de citoyens et d'associations dans la gestion des ressources et la production de services écosystémiques. Le développement de ces nouvelles manières d'innover, mettant en réseau des acteurs qui étaient traditionnellement hors du champ du système d'innovation et de connaissance agricole (Duru *et al.*, 2015a), interroge particulièrement la contribution des agronomes à la mise au point de démarches de conception de systèmes agricoles à différents niveaux d'organisation (par exemple bassins-versants, paysage, systèmes alimentaires), particulièrement en vue d'accompagner la transition agroécologique.

En effet, dans les régimes de conception 2, 3 et 4, les processus d'innovation intègrent peu le fonctionnement des réseaux de l'innovation, tels qu'ils existent et se reconfigurent aujourd'hui, et négligent leurs effets sur les raisonnements, méthodes, coordinations et échanges de savoirs agronomiques qui sous-tendent l'innovation. Les recherches sur ces questions restent très lacunaires. Ainsi, si, depuis plusieurs années, des travaux ont permis d'avancer sur l'étude de l'activité de conception des agriculteurs (Coquil *et al.*, 2014 ; Chantre *et al.*, 2015 ; Toffolini *et al.*, 2016 ; Catalogna *et al.*, 2018) et des agronomes (Cerf *et al.*, 2012b ; Prost *et al.*, 2018 ; Salembier *et al.*, 2018 ; 2020), on connaît mal la manière dont s'articulent les processus de conception des agriculteurs, ceux des acteurs du conseil ou de la recherche agricole, et ceux des acteurs des filières ou des territoires, conduisant au changement des systèmes de culture et de production. Comment combiner les processus de conception individuelle et collective, au sein

12. Les *living lab* (ou laboratoires vivants) sont des espaces mettant en œuvre une démarche d'innovation participative avec les usagers.

d'un réseau d'innovations ouvertes, pour impliquer une majorité d'agriculteurs (aux objectifs, problèmes, contraintes et ressources variés) dans le changement vers l'agroécologie, tout en tenant compte des objectifs, problèmes, contraintes et ressources d'autres acteurs souhaitant aussi contribuer à ce changement ? Comment favoriser l'investissement dans la conception des acteurs non agricoles (consommateurs, pouvoirs publics locaux, environnementalistes), qui sont porteurs d'enjeux majeurs et de savoirs utiles ? Les travaux internationaux sur les plateformes d'innovation (Davies *et al.*, 2017), ou sur les « courtiers de l'innovation » (Klerkx et Aarts, 2013) et leurs rôles dans les réseaux d'innovation (Kilelu *et al.*, 2011), proposent quelques solutions organisationnelles, impliquant tout ou partie de ces acteurs, mais font l'impasse sur la dimension agronomique de ces questions ainsi que sur les enjeux de coordination dans l'action (Cardona *et al.*, 2021).

Dans la recherche-développement agricole, la montée en puissance d'une logique d'innovation ouverte est appuyée par les travaux de nombreux collectifs[13], mêlant associations d'agriculteurs, chercheurs, acteurs de la recherche-développement, du conseil et de la formation, qui proposent diverses démarches pour soutenir ce processus. Un enjeu du régime de conception 5 sera de permettre l'évolution des structures d'appui à l'innovation pour que les bénéficiaires finaux et les parties prenantes au sein des filières et des territoires puissent collaborer pour innover.

L'accompagnement des dynamiques de transition

L'intérêt porté aujourd'hui aux transitions (agroécologique, numérique, énergétique, alimentaire, etc.) renouvelle les enjeux de l'innovation en agronomie. Il ne s'agit plus seulement d'innover pour réduire telle nuisance environnementale, augmenter la production, améliorer la qualité d'un produit frais ou manufacturé, ou stimuler la multiplication d'un auxiliaire : l'ambition est aussi de contribuer à accompagner vers un avenir souhaitable l'agriculture prise dans ces multiples transitions. La difficulté est que cet avenir souhaitable n'est pas le même pour tous ! Par exemple, la vision de l'avenir de l'agriculture qu'ont les agronomes engagés dans la reconception des systèmes de culture pour la transition agroécologique n'est sans doute pas exactement la même que celle des agronomes qui s'investissent dans la transition numérique en proposant des algorithmes pour les capteurs embarqués. Tous sont cependant d'accord sur le fait que l'agriculture doit fortement évoluer, vers plus de durabilité, en incorporant de l'agroécologie, du numérique, et en cohérence avec l'évolution de l'alimentation et des sources d'énergie, de la biodiversité, des ressources renouvelables. Le travail sur les transitions nous engage à adopter un point de vue ouvert sur la diversité des avenirs possibles, mais aussi sur la diversité des impacts directs et indirects des

13. On peut citer les réseaux mixtes technologiques, créés en 2008 par le ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, ou encore le réseau Ideas INRAE-AgroParisTech (https://www6.inrae.fr/ideas-agrifood). Ideas capitalise sur des travaux de recherches pour l'innovation pour proposer des méthodes de travail complémentaires en vue de développer les échanges de connaissances et d'inventions entre acteurs : diagnostic des situations d'usage (qui analyse la diversité des manières d'accomplir une tâche ou de résoudre un problème pour stimuler la conception, en lien avec ses futurs usagers, d'un outil ou d'un procédé innovant, Cerf *et al.*, 2012b) ; test d'usage de prototypes (qui met à l'épreuve des prototypes d'innovations sur la base d'une prise en main de ceux-ci par des utilisateurs potentiels en situations réelles) ; traque aux innovations d'agriculteurs (qui repère et analyse des pratiques innovantes et capitalise sur leurs connaissances pour développer la capacité créative des acteurs).

innovations agronomiques sur ces avenirs. En retour, pour que l'agronome parvienne à se positionner dans le processus d'innovation, il devient indispensable de se doter de nouveaux instruments pour comprendre les transitions à l'œuvre.

De nombreux auteurs, à la suite de Geels (2002), s'accordent sur le fait que la compréhension et la gouvernance des transitions passent par l'analyse des systèmes sociotechniques, et des trajectoires d'innovation qu'ils hébergent. Le système sociotechnique, qui désigne l'ensemble constitué par des acteurs en réseau, leurs pratiques, leurs savoirs, les technologies qu'ils utilisent, leurs représentations sociales et les normes et règles auxquelles ils se réfèrent, devient un nouvel objet d'investigation pour les agronomes. Un exemple de l'intérêt d'une telle analyse est donné par Guichard *et al.* (2017), concernant le verrouillage de l'agriculture intensive autour des pesticides : ces auteurs observent en effet que les outils d'aide à la décision (OAD), qui visent à ajuster les traitements aux risques de parasitisme, sont beaucoup plus diffusés que les techniques visant à réduire ce risque dans l'objectif de ne pas avoir à traiter (comme les associations d'espèces ou de variétés, pourtant rentables au niveau de l'agriculteur). La raison avancée est que l'adoption des OAD est totalement compatible avec le fonctionnement actuel du système sociotechnique qui organise aujourd'hui les grandes productions agricoles, alors que les associations d'espèces ou de variétés remettraient en cause l'organisation de la collecte et les relations entre les acteurs. Les alternatives aux pesticides sont victimes de la « dépendance au sentier »[14] : tous les acteurs se sont organisés autour de la solution « pesticides », et ils ne voient pas comment changer, tant que les acteurs avec lesquels ils sont en relation ne changent pas également. Ce système sociotechnique est verrouillé !

Le diagnostic des systèmes sociotechniques (en abrégé, « diagnostic sociotechnique ») vise à analyser les freins et leviers[15] à l'innovation au sein de systèmes d'acteurs régionaux ou nationaux. Sa formalisation est en cours à partir de premiers travaux de recherches menés par des agronomes (Belmin *et al.*, 2018 ; Meynard *et al.*, 2018 ; Della Rossa *et al.*, 2020 ; Boulestreau *et al.*, 2021). Ces premiers travaux montrent qu'un tel diagnostic permet aux agronomes d'alimenter le processus d'innovation agronomique selon trois axes :

– comprendre ce qui, dans la configuration actuelle des systèmes sociotechniques, est possible et pertinent pour la construction d'un projet d'innovation : quels sont les champs d'innovation prioritaires, et avec qui les développer ? Quelles seront les nouveautés compatibles avec le système sociotechnique actuel, tout en étant susceptibles d'être rapidement adoptées ? Quelles nouveautés doivent au contraire être créées dans des niches d'innovation, avec des acteurs affranchis du système sociotechnique actuellement dominant ? Dans le travail réalisé par Belmin *et al.* (2018) sur la niche d'innovation « IGP Clémentine de Corse », la réponse à ces questions constitue la base d'une révision de la gouvernance de la niche ;

14. La « dépendance au sentier » est la théorie selon laquelle des décisions passées prises en raison de conditions historiques particulières peuvent perdurer simplement par ce qu'en changer demanderait un trop gros effort ou un investissement trop important. Et ce, alors même qu'en changer serait bénéfique pour tous et pour l'avenir.

15. Y a-t-il des verrouillages ? Quels acteurs sont impliqués ? Quelles sont les stratégies de ces acteurs, leurs valeurs, leurs pratiques, les normes ou les savoirs partagés qui contribuent au verrouillage ? Quelles sont les niches d'innovation qui échappent, au moins partiellement, au verrouillage ? Quels sont les champs d'innovation à explorer pour favoriser une transition ?

– identifier des pistes d'évolution de stratégies et de pratiques des différents acteurs qui seraient nécessaires pour déverrouiller. Un exemple est le travail interdisciplinaire qui a été conduit, à la demande des pouvoirs publics, par Meynard *et al.* (2018) sur la diversification des cultures. L'entrée par les systèmes sociotechniques permet à l'agronome de mieux identifier l'agencement et les coordinations qu'il faut prendre en compte pour accompagner le changement de pratiques à l'échelle des systèmes agricoles. Ce faisant, il est aussi en mesure d'éclairer les pouvoirs publics sur leur action d'appui aux transitions dans le monde agricole : ainsi, il est inefficace d'agir exclusivement sur les agriculteurs (que ce soit par des taxes, des interdits ou des subventions) pour les amener à modifier leurs pratiques, dès lors que celles-ci sont le résultat des stratégies coordonnées de nombreux acteurs opérant en réseau. Les agronomes ont donc un rôle à jouer dans un renouvellement des modalités d'action publique, visant à impulser des changements qui portent non seulement sur les pratiques des agriculteurs, mais aussi sur celles des autres acteurs avec lesquels interagissent les agriculteurs. Il est essentiel qu'ils conservent cette vision systémique des trajectoires d'innovation lorsqu'ils sont appelés comme experts auprès des pouvoirs publics sur la conception d'innovations réglementaires ;

– éviter les effets de dépendance au sentier, qui tendent, lors de l'accompagnement des transitions des systèmes alimentaires ou des territoires, à favoriser les innovations incrémentales et les évolutions tendancielles. Une réorganisation des dispositifs et des procédures de conception est alors nécessaire : réalisation de diagnostics partagés sur les points clés qu'il faudra améliorer pour accroître la durabilité des systèmes alimentaires et/ou des territoires ; création de dispositifs interinstitutionnels de partage des objectifs et des concepts d'innovation, etc. Pour favoriser la transition agroécologique au niveau des territoires, Duru *et al.* (2015a) proposent une méthodologie participative en cinq étapes :

- analyse-diagnostic de la situation actuelle,
- identification des évolutions extérieures au territoire qui conditionnent son futur,
- conception de systèmes de culture et d'organisations paysagères pour une agriculture basée sur la biodiversité,
- proposition d'étapes permettant de passer de la situation actuelle à une agriculture agroécologique,
- conception de structures de gouvernance et de stratégies de gestion collective destinées à guider la transition.

Pour les systèmes alimentaires, Meynard *et al.* (2017) proposent d'orienter l'activité de conception vers des « innovations couplées », étroitement coordonnées entre production et alimentation.

Conclusion

Rappelons ce que nous écrivions en introduction de ce chapitre : contribuer au processus d'innovation, pour aider les agriculteurs à cultiver « de la manière la plus parfaite », est un enjeu majeur pour l'agronomie. L'approche généalogique que nous avons adoptée pour analyser les relations entre innovation et agronomie met en lumière que cela a nécessité, de la part des agronomes, de constamment faire évoluer leurs modèles conceptuels, leurs instruments, et la façon dont ils se positionnent dans des réseaux d'acteurs qui participent à définir un projet pour l'agriculture et à reconfigurer les systèmes sociotechniques. L'approche généalogique pointe la complexification

croissante des relations entre innovation et agronomie, et l'évolution qui a eu lieu dans la représentation que les agronomes ont de l'action et des agriculteurs bénéficiaires de leurs travaux. Mais elle souligne aussi la coexistence, aujourd'hui, des différents régimes de conception. Pouvoir se positionner dans cette diversité apparaît comme un point d'attention pour les agronomes; des espaces de débats et de réflexivité sur cette diversité sont essentiels pour la vitalité de la discipline, comme l'est l'Association française d'agronomie, avec ses événements « le débat agronomique » et *Les Entretiens du Pradel*. Hazard *et al.* (2020) proposent aussi des instruments pour questionner la posture du chercheur dans l'accompagnement des transitions vers plus de durabilité, qui pourraient ainsi être mobilisés au service de la réflexion sur la contribution de l'agronomie à l'innovation et aux transitions en agriculture.

Aujourd'hui, le numérique et ce qu'il transforme dans les capacités de recueil et de traitement de l'information, l'agroécologie et les limites qu'elle redessine dans les objets d'étude de l'agronomie, les transitions et la nécessité de revisiter l'accompagnement du changement, invitent les agronomes à continuer à questionner les processus d'innovation auxquels ils contribuent, et les formes organisationnelles dans lesquelles ils s'inscrivent. Le prisme des régimes de conception constitue un cadre utile pour une discipline d'ingénierie et d'interface comme l'agronomie. Pour cela, il faut certainement parvenir à mieux appréhender la façon dont les régimes de conception, construits au long de l'histoire de la discipline, se développent et coexistent aujourd'hui.

⏩ Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Classées chronologiquement, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Tillet M., 1755. Dissertation sur la cause qui corrompt et noircit les grains de bled dans les épis, et sur les moyens de prévenir ces accidens. Vve de Pierre Brun, Bordeaux.

Duhamel du Monceau H.L., 1762. *Éléments d'Agriculture, tome II*. ed. H. L. Guérin et L. F. Delatour, Paris.

Parmentier M., 1789. *Traité sur la culture et les usages des pommes de terre, de la patate et du topinambour*. Barrois l'Aîné, Paris.

Liebig J., 1840. *Traité de Chimie organique*, trad. Ch. Gerhardt. Fortin Masson, Paris.

Corenwinder B., Woussen H., 1875. Les engrais chimiques et la betterave, recherches faites à Houdain (Pas-de-Calais), *in*: Dehérain, P.P. (Ed.), *Annales agronomiques*. C. Masson, Paris, 8-16.

Petermann M., 1876. Recherches sur le meilleur mode d'emploi des engrais artificiels appliqués à la culture de la betterave à sucre. *In* : *Annales agronomiques* (Dehérain P.P., ed.). C. Masson, Paris, 241-262.

Audoynaud A., 1877. De l'influence qu'exercent sur la vigne les engrais potassiques. *In* : *Annales agronomiques* (Dehérain P.P., ed.). C. Masson, Paris, 50-60.

Demolon A., 1946. *L'Évolution scientifique et l'agriculture française*. Flammarion, Paris.

Hébert J., 1969. La fumure azotée du blé tendre d'hiver. *Bulletin technique d'information*, 244, 755-766.

Sebillotte M., 1974. Agronomie et agriculture, analyse des tâches de l'agronome, *Cahiers de l'Orstom, série biologie*, 24, 3-25. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/biologie/17681.pdf

Osty P., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bulletin technique d'information*, 326, 43-49.

Biggs S.D., 1985. A farming systems approach: Some unanswered questions. *Agricultural Administration*, 18, 1-12. https://doi.org/10.1016/0309-586X(85)90037-8

Meynard J.M., 1985. Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse de doctorat en agronomie, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, 258 p.

Gras R., Benoit M., Deffontaines J.P., Duru M., Lafarge M., Langlet A., Osty P.L., 1989. *Le Fait technique en agronomie*. L'Harmattan, Paris.

Passioura J.B., 1996. Simulation models: Science, snake oil, education, or engineering? *Agrononomy Journal*, 88, 690-694

Lançon J., Wery J., Rapidel B., Angokaye M., Gérardeaux E., Gaborel C., Ballo D., Fadegnon B., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, 101-110. https://doi.org/10.1051/agro:2008054

Blazy J.M., Ozier-Lafontaine H., Doré T., Thomas A., Wery J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana- based systems in Guadeloupe. *Agricultural Systems*, 101, 30-41. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.02.004

Le Bail M., 2012. Stratégies des acteurs des filières et évolution des assolements d'un territoire : enseignements des travaux agronomiques sur la qualité. *Agronomie, environnement & sociétés*, 2 (2), 155-163.

Le Bellec F., Rajaud A., Harry O.L., Bockstaller C., Malezieux E., 2012. Evidence for farmers' active involvement in co-designing citrus cropping systems using an improved participatory method. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 703-714. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0070-9

Lefèvre V., Capitaine M., Peigné J., Roger-Estrade J., 2014. Farmers and agronomists design new biological agricultural practices for organic cropping systems in France. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 623-632. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0177-2

Moraine M., Melac P., Ryschawy J., Duru M., Therond O., 2017. A participatory method for the design and integrated assessment of crop-livestock systems in farmers' groups. *Ecological Indicators*, 72, 340-351. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.012

Salembier C., Segrestin B., Berthet E., Weil B., Meynard J.M., 2018. Genealogy of design reasoning in agronomy: lessons for supporting the design of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 164, 277-290. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.005

Cornu P., Meynard JM., 2020. Pour une épistémologie historique de l'agronomie française. *Agronomie, environnement & sociétés*, 10 (2). https://agronomie.asso.fr/aes-10-2-4

2e partie

Une dynamique sociale

Chapitre 6

La recherche en agronomie, l'agronomie dans la recherche

Jean Boiffin, Pierre Cornu, Éric Malézieux

Quel rôle la recherche a-t-elle joué dans la fabrique de l'agronomie française aux xxe et xxie siècles ? Comme activité génératrice de connaissances, et comme creuset institutionnel dont les évolutions ont tantôt exposé, tantôt soustrait la discipline aux facteurs exogènes, elle a bien sûr été un vecteur essentiel de toutes les dynamiques évoquées dans les chapitres précédents : extension thématique et élaboration conceptuelle, enrichissement des démarches, interactions croissantes avec les autres disciplines et mutation des formes d'innovation. Mais, du point de vue de la structuration de la discipline, ce rôle devient moins discernable que dans beaucoup d'autres domaines scientifiques et technologiques, car l'enseignement d'une part, la pratique agricole d'autre part, ont eux aussi été des lieux de construction, si ce n'est d'invention, de l'agronomie[1].

C'est en effet une particularité de l'agronomie que de s'inscrire dans des chronologies d'évolution différentes selon qu'on la considère comme champ d'expertise, comme discipline d'enseignement ou comme activité de recherche. Sous cette dernière forme, son histoire est incontestablement plus courte : ce n'est pas de la recherche qu'émanent la plupart des traités et manuels d'agronomie qui se sont succédé en France depuis Olivier de Serres (1600)[2]. Cette discordance chronologique a un corollaire épistémologique : la recherche en agronomie se fonde, au départ tout au moins, sur un principe d'hétéronomie assumée vis-à-vis des disciplines fondamentales. Saisie dans son environnement scientifique, l'agronomie apparaît pendant longtemps comme un domaine applicatif de la science classique, et en particulier de la chimie. Il faut attendre le dernier tiers du xxe siècle pour que s'affirme une originalité épistémologique, qui ne devient autonomie revendiquée – et attestée par des ouvrages de synthèse désormais moins rares – qu'au cours des premières décennies du xxie siècle. Encore cette revendication est-elle loin d'être unanime parmi les chercheurs « en agronomie », tant sont vastes les domaines de recouvrement entre l'agronomie et d'autres disciplines, comme

1. En cohérence avec le propos général de l'ouvrage, nous traiterons ici du champ de recherche de l'agronomie *stricto sensu* et de ses interfaces immédiates (science du sol, bioclimatologie, etc.), et non de la « recherche agronomique » *sensu lato*.
2. Voir le numéro spécial édité par la revue *Agronomie, environnement & sociétés* à l'occasion du 400e anniversaire de sa mort (Collectif, 2020).

l'a montré le chapitre 4. D'ailleurs, les agronomes de la recherche n'ont guère aidé les historiens des sciences ou de l'agriculture à faire l'histoire de l'agronomie. Très tôt en effet, ils se sont forgé un « style » scientifique laconique, au sein duquel la réflexivité du chercheur, ses doutes, ses tâtonnements méthodologiques, étaient des préalables déontologiques assez partagés, mais qu'il n'était nullement besoin de coucher par écrit. Ce privilège était réservé à quelques grands penseurs, praticiens lettrés puis professeurs des écoles d'agronomie, voire chercheurs de renom comme Albert Demolon ou Stéphane Hénin, dont les écrits étaient au reste peu connus du « chercheur de base ».

Cette discrétion épistémologique, se conjuguant avec une faible propension à élaborer des synthèses, a eu pour effets de limiter la prise de conscience par les chercheurs en agronomie des lacunes thématiques et des faiblesses conceptuelles de leur discipline, et en sens inverse de minorer l'originalité et la pertinence de son heuristique, retardant finalement l'élaboration d'une histoire de l'agronomie à dimension épistémologique assumée. *L'Histoire de l'agronomie en France* (Boulaine, 1992) fut écrite par un pédologue et ne parle guère d'agronomie *stricto sensu.* Ce n'est en définitive que très récemment que sont apparus des écrits retraçant certains pans de l'histoire de la recherche en agronomie (Richard *et al.*, 2019). Encore est-ce dans un cadre où l'agronomie n'est toujours pas distinguée en tant que telle. La réponse à notre question initiale, celle du rôle de la recherche dans la construction de la discipline, reste donc à élaborer, ne pouvant se déduire de l'assemblage d'écrits préexistants. Ce chapitre n'est à cet égard qu'une tentative exploratoire, permettant avant tout de proposer et tester un cadre d'analyse historique susceptible d'éclairer la dynamique épistémologique de l'agronomie.

Pour donner cohérence à ce cadre, il apparaît fondamental d'accorder une grande attention au contexte de développement de l'agronomie comme activité de recherche. L'histoire de la recherche en agronomie est en effet tributaire des changements profonds intervenus dans les relations entre agriculture, science et société au cours des XXe et XXIe siècles. Elle porte aussi l'empreinte d'évolutions générales à la sphère scientifique, et notamment de certaines révolutions méthodologiques, conceptuelles ou technologiques, qui ont plus ou moins brusquement transformé les façons de penser, les pratiques et les métiers des agronomes de la recherche. Si la position de l'agronomie française au milieu du XXe siècle peut être caractérisée par une double hétéronomie au regard de la science classique d'un côté, et des enjeux agricoles de l'autre, c'est tout l'intérêt de son histoire que de révéler, dans la seconde moitié du siècle, le creusement d'une originalité épistémologique, puis l'affirmation d'une véritable autonomie non pas fermée sur elle-même, mais ouverte à l'interdisciplinarité, puis à la transdisciplinarité, dans un contexte de crise systémique de la relation entre société et nature. La mise en récit chronologique de cette histoire, à partir des archives écrites et orales disponibles[3], et surtout des travaux à caractère historique qui se sont développés depuis une vingtaine d'années, apparaît donc non seulement comme la forme la plus commode de l'exposition de l'évolution de l'agronomie, mais également comme la manière la plus convaincante de comprendre son organisation, son fonctionnement, ses relations avec son environnement et ses productions de tous ordres.

3. Nous avons principalement mobilisé la production scientifique elle-même (revues, publications, thèses, etc.), les archives orales de l'Inra et du Cirad (collection Archorales) et des documents de gouvernance de la recherche rassemblés par le Comité d'histoire INRAE-Cirad.

Après une brève description du point de départ très modeste de la recherche française avant 1940, nous présenterons notre analyse en croisant successivement trois types de récits, qui concernent respectivement l'organisation institutionnelle de la recherche, les thématiques abordées et démarches mises en œuvre, et enfin les partenariats et formes de valorisation des acquis de la recherche en agronomie. Le premier ordre de récit rend compte des mutations successives du système français de recherche-développement agronomique, qui ont affecté l'organisation et le développement de toutes les disciplines à caractère technologique, et tout particulièrement de l'agronomie *stricto sensu*. On y abordera la différenciation de longue durée entre recherche métropolitaine et recherche dédiée aux régions tropicales, qui caractérise le dispositif français par rapport aux écoles d'Europe du Nord ou d'Amérique du Nord. Dans le deuxième ordre de récit, le plus classique en histoire des sciences, on tentera de donner à voir la maturation épistémologique, tardive mais profondément originale, de la discipline agronomie, et sa double dépendance vis-à-vis des grandes évolutions scientifiques et sociétales, facteurs à la fois de vulnérabilité et de créativité méthodologique. Quant au troisième ordre, il confirmera l'idée avancée dans les chapitres précédents que, s'agissant d'agronomie, les interactions cognitives entre la recherche et le développement jouent un rôle essentiel. Mais ces interactions n'ont pas toujours fonctionné de manière optimale, elles ont traversé des crises et nécessité des refondations, faisant de la trajectoire de la recherche en agronomie une histoire bien peu rectiligne.

Une analyse de l'évolution de la recherche en agronomie devrait idéalement être transnationale, prenant en compte la diversité des modes d'organisation de la recherche agronomique dans le monde, et l'internationalisation de la science. Cependant, conformément au cadre de cet ouvrage, nous nous limiterons à la recherche française. Il se trouve que, du fait de la dualité entre métropole et outre-mer, cette histoire s'inscrit déjà dans une très grande variété de contextes, obligeant à penser ensemble des trajectoires initialement divergentes, mais qui se sont finalement réunies pour produire une dynamique commune de développement de l'agronomie au tournant du XXIe siècle.

⏩ Avant 1945 : une agronomie au statut indécis, confrontée à des contextes très divers

Inscrite dans l'héritage des Lumières et fondée sur un pacte politique durable entre le monde social de la petite exploitation rurale et les élites intellectuelles et économiques urbaines, la IIIe République met un zèle certain à apporter les instruments du « progrès » à l'agriculture. Si les diplômés des écoles d'agronomie d'avant la Seconde Guerre mondiale appartiennent pour la plupart au monde de la notabilité rurale, c'est en faveur de la masse des « cultivateurs » que le ministère de l'Agriculture mobilise la structure centralisée et descendante de la machine d'État, avec les professeurs départementaux d'agriculture et les fermes modèles en vecteurs principaux de la vulgarisation des « pratiques éclairées ». Avant la Grande Guerre toutefois, seules les principales écoles disposent de chaires dont les titulaires se livrent à des travaux de recherche.

La création d'un Institut de la recherche agronomique (IRA) en 1921 s'inscrit dans cette logique agrarienne progressiste, avec le souci de compenser par une augmentation de la productivité agricole la saignée dans les effectifs causée par la Grande Guerre.

Inspirée par les héritages de la chimie agricole allemande[4], par le modèle pasteurien et, plus marginalement, par la science du sol russe, la recherche agronomique française trouve un premier espace de développement dans les années d'entre-deux-guerres pour affirmer la pertinence de sa contribution à l'économie nationale, à la fois en métropole et dans un empire colonial alors à son apogée. La même année, en 1921, sont créés à Nogent-sur-Marne le Jardin colonial et l'Institut national d'agronomie coloniale (Lévêque *et al.*, 2005). Mais, au sein de ces institutions, l'agronomie comme discipline n'occupe qu'une fonction modeste de synthèse et de conseil, mobilisant des connaissances acquises par les disciplines d'amont plus que produisant elle-même des savoirs spécifiques, et progressant dans l'ombre de l'amélioration variétale, secteur le mieux doté de la recherche publique comme privée. Seul Albert Demolon (1881-1954), nommé en 1927 inspecteur général des stations et laboratoires du ministère de l'Agriculture, et en charge de la station centrale d'agronomie de Versailles à partir de l'année suivante, propose une véritable ambition scientifique pour sa discipline (Pédro, 2005). Il est notamment à l'origine de l'implantation à Versailles de deux célèbres dispositifs d'expérimentation de longue durée : celui des « 42 parcelles » sur les effets à long terme des amendements, et celui des cases lysimétriques, qui permet d'étudier la composition des eaux de drainage et d'établir des bilans d'éléments minéraux (Burgevin et Hénin, 1939). C'est ainsi par la connaissance des sols, domaine de recherche mal représenté à l'université, que les agronomes prouvent la pertinence d'une approche qui combine l'observation de terrain et les analyses de laboratoire. Comme en témoignera Stéphane Hénin (1910-2003), disciple d'Albert Demolon, « c'est par son exemple et l'animation de ces structures qu'il a rénové l'esprit de la recherche agronomique française » (Hénin, 1997).

Si l'agronome de l'entre-deux-guerres est reconnu pour son expertise et pour ses capacités de synthèse – lorsqu'il dispose d'une fonction pédagogique ou administrative qui lui laisse le loisir d'effectuer des lectures –, il n'appartient qu'à la marge au monde de la recherche scientifique, essentiellement comme médiateur entre le laboratoire et le champ, quand ce n'est pas simplement entre l'industrie des engrais et ses utilisateurs. Si l'extraordinaire diversité des terroirs et des systèmes de culture métropolitains exige de l'agronome une grande subtilité dans le maniement de la dialectique entre le générique et le singulier (non sans enjeux économiques et politiques lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins des grands vignobles par exemple), il n'est pas en mesure d'en faire une heuristique, encore moins un discours de la méthode. Dans les plantations coloniales de même, l'agronomie se limite pour l'essentiel à une biologie végétale appliquée, ou « phytotechnie », l'étude des sols étant délaissée au profit d'un usage précoce d'intrants et de machines censés corriger les défauts inhérents à la nature tropicale.

L'entrée dans la crise de 1929, rapide et brutale dans les économies coloniales, plus tardive et insidieuse en métropole, impacte directement le développement encore fragile de l'agronomie comme activité de recherche. En bridant la consommation intérieure et en fermant les débouchés extérieurs, la crise fait passer la recherche scientifique et technique à l'arrière-plan des politiques publiques, le gouvernement français supprimant l'IRA en 1934 – alors même que, de l'autre côté de l'Atlantique, les États-Unis mobilisent

4. Le fait que le nouvel organisme soit placé sous la direction d'Eugène Roux (1863-1948), gestionnaire des ressources en engrais pendant la Grande Guerre et artisan de la mise sous contrôle français des potasses d'Alsace, est emblématique de l'orientation donnée à la recherche agronomique nationale.

massivement les ressources scientifiques et techniques de l'United States Department of Agriculture (USDA) pour résoudre la crise de leur propre agriculture. En France métropolitaine, la recherche agronomique perd toute coordination, ne trouvant plus que des niches précaires pour maintenir ses connaissances et ses savoir-faire, dans quelques stations dotées de moyens autonomes, comme le laboratoire des sols de Versailles, ou dans des instituts techniques ayant gardé des financements industriels. Les trajectoires professionnelles quelque peu erratiques des élèves d'Albert Demolon – Stéphane Hénin en physique du sol, Étienne-Marcel Bastisse en chimie, Antoine Dunez en microbiologie, Georges Aubert en pédologie – illustrent les déboires des débuts de la scientifisation de l'agronomie, entre incertitudes institutionnelles et manque de considération du monde académique pour une discipline jugée trop proche de l'empirisme.

Le contraste est frappant avec l'Europe du Nord et les États-Unis, engagés dans une course à l'intensification par le recours à la recherche scientifique et à une rationalisation technique et économique des modèles de production, en grande culture comme dans les systèmes spécialisés. Non que les agronomes français soient restés ignorants des avancées de la recherche internationale : l'émergence de la statistique fisherienne[5] appliquée à l'expérimentation est sensible chez les chercheurs français dès cette période, et le centre de recherche de Rothamsted, au Royaume-Uni[6], constitue un lieu de pèlerinage obligé pour les chercheurs français. Mais ces derniers ne sont pas en mesure de produire les données nécessaires à la mise en œuvre des outils cognitifs de la recherche anglo-saxonne, non plus que de mener les essais « en grand » qui permettraient de produire des innovations agronomiques transférables. La seule station agronomique allemande de Münchenberg, dévolue à la pomme de terre, compte autant de chercheurs que toute la recherche agronomique française.

À l'exception notable du domaine de la nutrition minérale et de la fertilisation, l'agronomie française de l'entre-deux-guerres consiste donc principalement à établir des relations directes entre pratiques et rendement physique, à partir de l'expérience acquise et d'une observation du comportement des cultures, assez faiblement instrumentée. Ces relations sont circonscrites aux grandes cultures, et restreintes au contexte pédoclimatique de l'étude. S'appuyant sur la géographie physique et sur la pédologie, l'agronomie « savante » caractérise et délimite les aires au sein desquelles on peut rechercher et reproduire les pratiques les plus performantes, avec une coupure nette entre la métropole et les colonies. En France métropolitaine domine le modèle de l'agronome expert de l'évaluation des correctifs à apporter aux sols, dans une pratique de recherche modestement orientée vers des mondes professionnels agricoles sans grands moyens financiers ou techniques, même en régions de grande culture. Dans les possessions coloniales, l'agronome est davantage inclus dans des logiques d'action à la fois administratives, techniques et managériales avant la lettre, faisant la part belle aux enjeux de main-d'œuvre, de machinisme et d'intrants, à l'exemple des grandes plantations industrielles d'hévéa en Indochine ou de palmier à huile en Afrique. C'est en l'occurrence le secteur agro-industriel qui pilote les études attendues du personnel scientifique et technique dans les territoires d'outre-mer.

5. Du nom de Ronald A. Fisher (1890-1962), mathématicien, généticien et initiateur des analyses de variance.
6. Fondée en 1843, cette station expérimentale occupe le premier rang en Europe par la diversité de ses champs de recherche et le prestige de ses laboratoires.

En métropole, la recherche en agronomie s'insère dans le « modèle » des stations départementales, très lié à la chimie agricole, à l'industrie des engrais et à la répression des fraudes sur les semences et intrants, en relation étroite avec le monde social des syndicats agricoles et des coopératives. L'analyse des sols et le test comparatif des produits et des machines constituent le quotidien des ingénieurs et techniciens. Ce sont les assemblées départementales qui supervisent les stations, même si le ministère de l'Agriculture a un vrai pouvoir sur leurs agents. Par ailleurs, une partie importante des recherches et de l'expérimentation est financée, voire réalisée directement par les firmes d'engrais ou par des opérateurs de transport de pondéreux, notamment des compagnies de chemin de fer, comme dans le domaine du PLM à Époisses, près de Dijon, créé en 1930.

En matière de recherche, cette période est marquée par le règne d'une phytotechnie étroitement normative, couplée à une pratique de l'expérimentation comparative qui cherche non pas à généraliser, sauf en matière de nutrition minérale et de fertilisation, mais à tester et optimiser localement. Dans cette période, seules les revues, quelques rares colloques publiés, et plus encore l'enseignement, opèrent un minimum de travail de préservation et de synthèse des résultats des recherches menées en métropole et dans les outre-mer. Il n'y a pas d'instance académique centralisée de validation des connaissances. La refondation des *Annales agronomiques* par Albert Demolon en 1931[7] assure toutefois une cohérence méthodologique minimale au sein de la discipline. De fait, ce sont les universités, les instituts spécialisés comme l'Institut Pasteur ou les grands organismes de recherche (le Muséum national d'histoire naturelle, MNHN, et le CNRS, créé en 1939) qui produisent les normes auxquelles se plient les agronomes (protocoles d'analyse physico-chimique, inventaire botanique, classification pédologique, etc.). Seuls les travaux sur les sols, synthétisés par Albert Demolon dans *La Dynamique du sol* en 1932, constituent un embryon de corpus scientifique. Certes, dans les différentes institutions où le terme « agronomie » a une identité reconnue, les chercheurs qui la portent partagent un même socle de compétences. Pour autant, ils sont loin de constituer une véritable communauté scientifique, organisée autour de programmes concertés. Dispersées géographiquement et institutionnellement, les recherches en agronomie sont très inféodées aux spécificités régionales, tout particulièrement en métropole, et à quelques espèces végétales privilégiées, notamment outre-mer.

La station de recherche de Versailles joue toutefois un rôle significatif de tête de réseau des centres de recherche agronomique métropolitains, en même temps que d'interface avec la recherche internationale. Albert Demolon y joue un rôle fondamental. Mais il ne parvient guère à faire entendre sa voix dans les jeux de factions qui conduisent le régime de Vichy à créer en 1943 un Service national de l'expérimentation (Bonneuil, 2021). Les moyens font cruellement défaut, et la collaboration avec l'occupant, qui induit un pillage méthodique des ressources agricoles du pays, et à laquelle s'ajoute une idéologisation à outrance du monde de la « terre », divise les chercheurs attachés à sortir l'agriculture nationale de son marasme. Seuls les secteurs de l'amélioration et de la santé des plantes trouvent à Vichy des crédits et des positions de pouvoir, qui seront pour l'essentiel préservées dans la création de l'Inra. La destruction du laboratoire des sols de Versailles lors d'un bombardement allié en juin 1944 s'apparente à un coup de grâce pour l'agronomie métropolitaine.

7. Fondées en 1875 à l'initiative du ministère du Commerce et de l'Agriculture, les *Annales agronomiques* avaient cessé de paraître en 1902.

Dans le domaine tropical, *de facto* beaucoup plus vaste, et objet de considérations commerciales et stratégiques bien plus importantes que les agricultures régionales métropolitaines, un ensemble d'institutions spécifiques émerge dans l'entre-deux-guerres, au sein duquel s'organise et se structure une activité de recherche au service des intérêts économiques coloniaux. Dans le dernier tiers du XIXe siècle, la France a en effet constitué un empire de plusieurs millions de kilomètres carrés en Afrique du Nord et dans les régions intertropicales du globe, continentales et insulaires. À la période des explorations et des conquêtes, puis à celle de l'inventaire des ressources naturelles des territoires assujettis et de leur mise en exploitation, succède après la Première Guerre mondiale une tentative de rationalisation par spécialisation. Les plantes originaires du continent américain, dont les produits sont devenus indispensables aux industries et aux consommateurs, vont traverser les océans et être installées dans les jardins d'essais du continent africain et de l'Indochine. Ces lieux d'expérimentation, proches des jardins botaniques dans leur agencement, sont alors les unités de base d'une recherche qui valorise essentiellement les savoir-faire liés à l'amélioration des plantes, au détriment d'une agronomie qui se réduit alors à un simple corpus

Encadré 6.1. Institutionnalisation et spécialisation de l'agronomie tropicaliste

L'Institut de recherches pour les huiles et oléagineux (IRHO) est fondé fin 1941, suivi par l'Institut des fruits et agrumes coloniaux (IFAC), fondé début 1942, et par l'Institut de recherches sur le caoutchouc en Afrique (IRCA), en octobre de la même année. En 1942 toujours est créée l'Union des instituts agricoles coloniaux, qui regroupe l'Institut de recherches sur le caoutchouc en Indochine (IRCI), l'IRCA, l'IRHO, l'IFAC et l'Union cotonnière de l'empire français (UCEF) qui a pris la suite, en 1940, de l'Association cotonnière coloniale (ACC), issue en 1903 du Syndicat général de l'industrie cotonnière créé en 1901. L'IRHO étudie l'ensemble des filières oléagineuses depuis la production jusqu'à la transformation des produits (palmier à huile, cocotier, arachide). L'IRHO intervient dans de nombreux territoires africains, mais aussi en Asie, en Polynésie et en Amérique du Sud. L'IRCA, créé à l'initiative des sociétés de plantations et intégré dès l'origine dans une organisation internationale, se trouve, par ses activités multiples, au service direct des planteurs, en Afrique, en Extrême-Orient et en Amérique.

L'Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux (IEMVT) est issu du Cours de médecine coloniale vétérinaire, créé en 1921. Ses principales fonctions sont l'enseignement et la recherche. En 1948, l'Institut de médecine vétérinaire exotique (IMVE) prend la suite du Cours. L'Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux (IEMVPT) devient centre de recherches, centre de recrutement et de formation, et centre de documentation.

Le Centre technique forestier tropical (CTFT), créé en 1949, est une société d'État qui s'intéresse à l'étude de tout ce qui concerne le bois, des activités forestières aux techniques industrielles. Il prend le relais de laboratoires spécialisés depuis 1917 dans l'étude des bois tropicaux.

Créé en 1946, l'Institut de recherches du coton et des textiles exotiques (IRCT) travaille dans les territoires africains francophones et à Madagascar, en relation avec la Compagnie française pour le développement des fibres textiles (CFDT). Son action s'élargit au monde entier.

de bonnes pratiques. Il s'agit en priorité d'adapter de nouvelles espèces introduites, de sélectionner des variétés plus performantes ou moins fragiles, et de les diffuser auprès des planteurs. Sans que l'analyse écologique soit évoquée en tant que telle, ces recherches sur l'acclimatation des plantes accordent une attention particulière aux vulnérabilités des milieux tropicaux et aux conditions concrètes, économiques et bioclimatiques, de la création de plantations.

Les années 1930 voient l'apogée de ce modèle, avec un nombre grandissant d'agronomes formés en France envoyés dans les colonies, souvent conjointement avec les forestiers. Entre les deux guerres, des stations sont créées dans tout l'Empire : Bambey au Sénégal sur l'arachide, La Mé en Côte d'Ivoire et Pobé au Bénin sur le palmier à huile. De nombreuses autres stations sont créées, en Indochine sur le riz et l'hévéa, à Madagascar sur le riz. Malgré des liens métropole-colonies très difficiles à maintenir suite à la défaite de 1940 qui laisse la France sans marine, la période de l'Occupation voit la création d'instituts sous la forme d'associations avec pour but d'assurer la continuité des actions des structures de recherche plus anciennes, qui avaient contribué à l'émergence de la recherche agronomique tropicale dans les colonies françaises. Cette phase d'intense activité institutionnelle se prolonge au reste dans l'après-guerre, avec davantage de continuité que de rupture.

La loi du 11 octobre 1943 porte création d'un Office de la recherche scientifique coloniale (ORSC). En 1944, le Gouvernement provisoire de la République française confirme par une ordonnance la création de cette institution sous le nom d'Office de recherche scientifique d'outre-mer (Orsom)[8]. Celui-ci est alors implanté dans de nombreux pays, en Afrique centrale, en Océanie, à Madagascar. Sa vocation est de conduire des recherches fondamentales, les recherches du domaine agronomique étant réservées aux instituts spécialisés. Mais la distinction entre recherche fondamentale et appliquée n'est pas si nette, et sera l'objet de tensions sans fin entre les deux groupes d'instituts. L'agronomie, avec la pédologie et l'amélioration des plantes, se trouvera au centre de ces enjeux.

La contribution des troupes africaines à la Libération et les craintes liées à l'essor des mouvements indépendantistes incitent la IVe République à investir fortement dans le développement économique des départements d'outre-mer et des colonies. En Indochine toutefois, les autorités françaises ne parviennent pas à reprendre pied en 1945, le territoire basculant dans la guerre dès l'année suivante. L'hévéaculture française, caractérisée par une exploitation de la main-d'œuvre particulièrement dure, y perd son principal terrain d'expérimentation. En Algérie également, les « progrès » de l'agriculture, notamment de la viticulture, ont été accaparés par les colons, dans une logique d'éviction ou d'exploitation de la paysannerie autochtone. De fait, après 1945, seuls le Maroc, la Tunisie et l'Afrique de l'Ouest offrent des conditions d'exercice propices à la recherche agronomique appliquée, avec un début d'intérêt – timide, tardif – pour les productions vivrières.

Au sortir de la guerre, l'agronomie française apparaît ainsi en bien mauvaise posture, aussi bien en métropole que dans l'empire. Par contraste avec ce qui a cours au Royaume-Uni ou aux États-Unis, l'agronomie française n'échappe ni au qualificatif de « science de localité » ni à celui de « phytotechnie » qui la situe comme prolongement

8. Rebaptisé Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (Orstom) en 1953.

technique de l'acclimatation des espèces et de la sélection variétale. Pour autant, dans le contexte de la reconstruction du pays, la recherche agronomique est immédiatement identifiée comme une ressource majeure, avec comme modèles l'USDA et les centres agronomiques des pays de l'Europe du Nord (Royaume-Uni, Pays-Bas, Danemark, etc.). Dès lors, le défi pour l'agronomie française n'est plus tant d'obtenir des moyens que de trouver sa place entre l'amélioration des plantes, le génie rural et l'économie de la production, pour se construire une légitimité scientifique pleine et entière.

⏩ De 1945 à la fin des années 1960 : une amorce de structuration de la recherche en agronomie

L'après-guerre est une intense période de reconstruction et de développement agricole, en métropole comme dans l'Empire. Les agronomes de la recherche sont en quelque sorte aspirés par une spirale « modernisatrice », leur pratique s'y inscrivant d'autant mieux qu'ils peuvent à bon droit s'attribuer les progrès de productivité spectaculaires qu'engendrent les amendements et la fertilisation minérale. Les formes que prend le développement de l'agronomie, aussi bien sur le plan institutionnel que du point de vue scientifique et technique, sont conditionnées à la fois par cette fonction de recherche appliquée à l'augmentation de la productivité et par les trajectoires des organismes de recherche agronomique qui l'hébergent, fortement différenciées entre métropole et outre-mer (figure 6.1).

Des trajectoires d'évolution institutionnelle très contrastées

La reconstruction économique, rampe de lancement de la recherche agronomique

Pouvoirs publics, recherche scientifique et syndicalisme agricole s'accordent sur un point : on ne peut reconduire le pacte agrarien, qui a certes maintenu une agriculture de peuplement plus dense et moins endettée qu'ailleurs, mais qui n'est pas à même de répondre aux défis de l'après-guerre, qu'il s'agisse des conditions de vie et de travail des agriculteurs ou des besoins essentiels et des aspirations des consommateurs. La modernisation agricole se définit dès lors comme un programme partagé d'augmentation de la productivité, de spécialisation des exploitations et de scientifisation des savoirs agricoles. Pour ce qui concerne l'agronomie, les conséquences sont majeures : intensification des productions, autonomisation de la production végétale vis-à-vis de l'élevage et de la fumure animale, et essor des productions végétales liées à l'alimentation animale, dans le cadre d'une « révolution fourragère » qui mobilise tout l'appareil de recherche-vulgarisation. Semences sélectionnées, engrais minéraux, amendements et machinisme agricole s'affirment comme les instruments d'une mutation accélérée de l'agriculture française, dans le cadre d'une politique agricole volontariste, d'abord nationale, puis européenne à partir de la fondation de la PAC en 1962. Pour accompagner cette stratégie résolument productiviste, la réforme des « structures » (agrandissement des exploitations, aménagement des infrastructures, etc.) et le développement de la recherche agronomique deviennent une grande priorité nationale, qui s'inscrit par ailleurs dans une dynamique plus large d'intense création institutionnelle, avec la fondation ou la réorganisation des grands instituts de recherche nationaux.

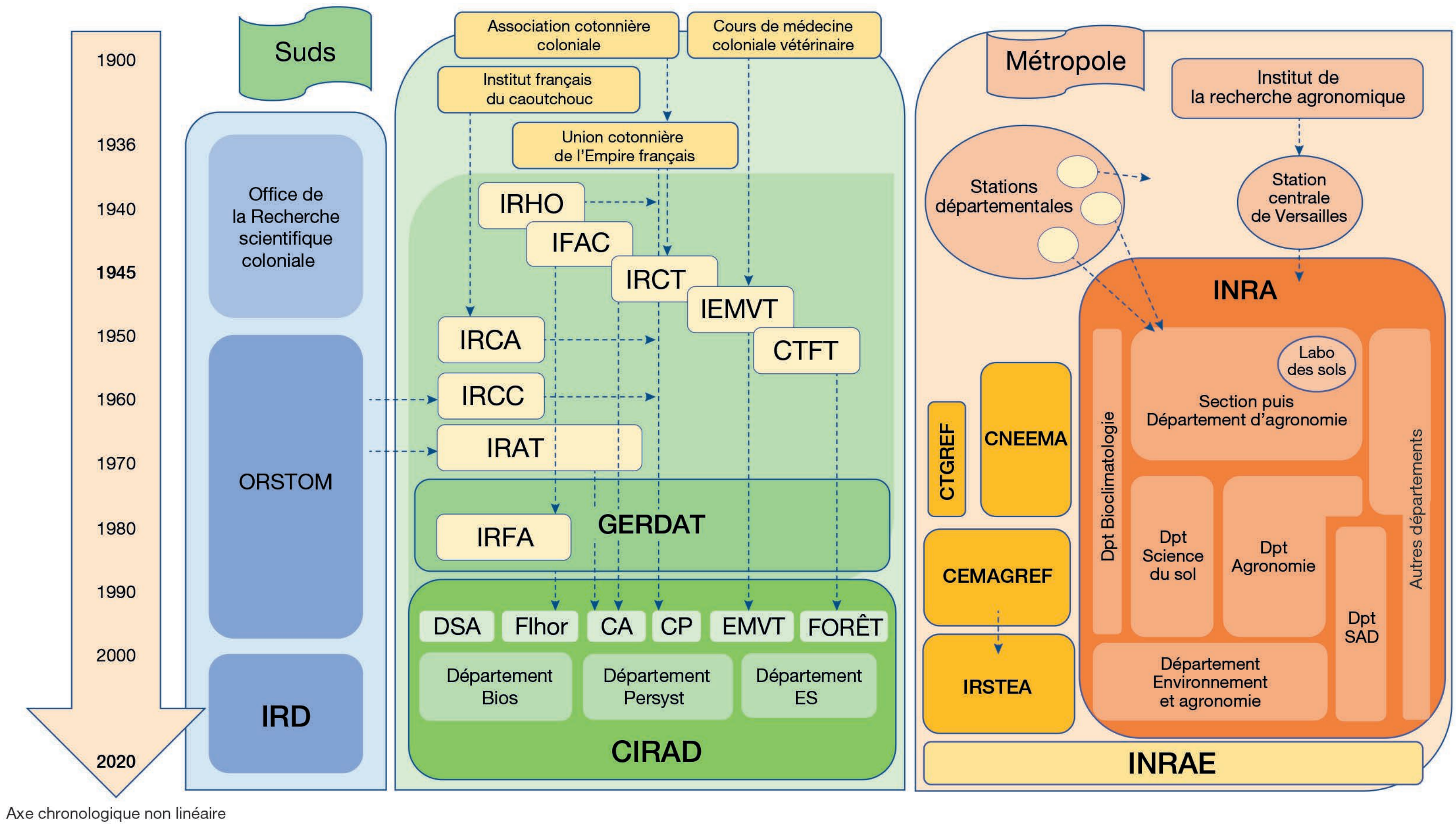


Figure 6.1. Évolution du contexte institutionnel des recherches en agronomie dans les organismes publics de recherche français.

La recherche agronomique doit-elle être distincte et placée sous tutelle du ministère de l'Agriculture ou n'est-elle qu'un champ d'application de recherches génériques menées au MNHN, au CNRS et dans les universités ? Dans un contexte de pénurie alimentaire, c'est le ministère de l'Agriculture qui l'emporte, avec la création de l'Inra en 1946 comme organisme dévolu à la modernisation et à l'intensification des productions végétales et animales (Cornu *et al.*, 2018). Cette création va induire, pour toute une génération d'agronomes, une forte identification de l'agronomie à la recherche publique sous tutelle du ministère de l'Agriculture, à la fois dans les approches et les structures. Outre-mer, les instituts spécialisés récemment créés se réorganisent à la Libération : il faut soutenir les planteurs et augmenter les exportations de produits tropicaux vers une métropole en croissance, dans une même logique productiviste. Les stations existantes sont renforcées, et de nouvelles stations sont créées, notamment en Guinée et au Cameroun.

Métropole et outre-mer : des agronomies qui divergent

Dès sa création, l'Inra donne une primauté à la scientificité en adoptant une terminologie disciplinaire pour identifier et regrouper ses entités fondamentales – stations et laboratoires. Calquée sur le modèle des « stations centrales » du temps de l'IRA, cette nomenclature est bien plus qu'un mode de présentation, elle est structurante du fait de l'autorité dévolue aux directeurs de ces stations sur les autres entités de la même « branche d'activité ». Aux stations centrales, les meilleurs équipements et les chercheurs les plus expérimentés ; aux stations provinciales, les déclinaisons sectorielles et les essais techniques. Cette primauté à la science pour définir le mode d'organisation de la recherche contrebalance l'orientation très appliquée qu'a signifiée aux yeux du monde scientifique externe la tutelle du ministère de l'Agriculture. Dès l'origine de l'institut, parmi les « disciplines » ou « groupes d'activité », figure une « section » d'agronomie qui compte 43 chercheurs, et dont la figure de proue est la station centrale de Versailles, le gros des effectifs restant cependant dispersé dans les ex-stations départementales. En 1953, la physiologie végétale se sépare de l'agronomie pour former un ensemble autonome au sein de l'Inra. En 1964 est instaurée l'entité « département de recherche », qui consacre et renforce la nomenclature disciplinaire, mais dans une acception large : plus qu'à une discipline académique, le département d'Agronomie correspond à un ensemble pluridisciplinaire constitué autour d'un objet d'étude, le champ cultivé. Si le département bénéficie de l'expansion des effectifs de la recherche publique (en 1970, il compte 106 chercheurs), il reste sous-doté en locaux et en surfaces, notamment par comparaison avec celui de l'Amélioration des plantes, qui bénéficie de l'appui inconditionnel de la direction de l'institut et de contrats avantageux avec le secteur de l'agrofourniture. De fait, les chaires des écoles d'agronomie demeurent les points d'ancrage principaux d'une discipline dont la participation à la grande entreprise de « laboratorisation » des biosciences demeure assez marginale.

Quoi qu'il en soit, la structuration disciplinaire, se conjuguant au sein de l'Inra à la centralisation des décisions en matière de financement et de recrutement, a pour la recherche en agronomie un impact décisif en ce qu'elle cristallise la confrontation entre la tradition de recherche des stations départementales et la vision scientifique unificatrice issue de la pensée d'Albert Demolon. Les recherches menées à Versailles s'inscrivent dans une approche fondamentale et générique du sol comme support

des cultures. Elles se situent en opposition non seulement à une perspective étroite d'application à la production, mais aussi à l'approche pédogénétique qui privilégie l'analyse de la diversité des sols.

Dans les stations régionales d'agronomie en revanche, ce sont des attitudes étroitement sectorielles et appliquées qui prévalent encore, favorisées par la dispersion géographique et institutionnelle et par la longévité des cadres. C'est grâce à l'influence grandissante de Stéphane Hénin, héritier intellectuel d'Albert Demolon, que la vision explicative et généralisatrice prend le dessus dans les années 1950. Après avoir reconstitué le laboratoire d'analyse des sols, puis effectué un détour par l'enseignement supérieur agronomique entre 1959 et 1966, Stéphane Hénin succède à Pierre Boischot à la tête du département d'Agronomie de l'Inra. Il jouit alors de l'autorité personnelle que lui donne sa notoriété internationale en physique des sols et minéralogie des argiles. De surcroît, il propose une réflexion épistémologique et méthodologique, excessivement rare pour l'époque, spécifiquement axée sur l'agronomie comme science appliquée[9]. Il introduit aussi dans les pratiques de recherche un style d'animation inédit et suscite l'enthousiasme d'un cercle de disciples créatifs et dynamiques. Non seulement à l'Inra, mais aussi à l'Orstom et à l'IRAT, ces derniers propagent ses conceptions et démultiplient son impulsion d'ouverture thématique et méthodologique. Mais cette dynamique se heurte à l'inertie que confère à l'agronomie la persistance de structures héritées de la III[e] République. Parmi les différents départements de l'Inra, aucun n'est aussi éclaté géographiquement que celui d'Agronomie, ce qui est un frein puissant et durable à la réflexion collective et à l'organisation des recherches. Jusqu'au seuil des années 1970, ce département reste un archipel de baronnies régionales, chacune choisissant ses propres thèmes de recherche en fonction de ses compétences et des enjeux locaux, d'où de fortes redondances et une faible capitalisation scientifique, bien traduite par le faible nombre de publications par chercheur dans cette période.

Outre-mer, après la perte de l'Indochine en 1954, l'agronomie française se concentre sur deux zones : le Maghreb et l'Afrique de l'Ouest, sans liens ou presque entre ces deux ensembles. En effet, l'Algérie fait partie intégrante du territoire national et dépend, dans l'après-guerre, de l'Inra et du rayonnement de l'école d'agronomie d'Alger, Maison-Carrée, qui obtient le rang d'École nationale d'agriculture en 1946, puis d'École supérieure agronomique en 1961, avec des effectifs importants et des installations dévolues à la recherche et aux expérimentations. Si la viticulture est reine en Algérie, la science du sol y connaît également un fort développement dans cette période. Quant au Maroc, il est le lieu d'une étroite coordination entre autorités du protectorat et monarchie pour le développement de la production agricole, mais avec bien plus d'efforts menés du côté du machinisme, de l'irrigation et du génie rural que du côté de l'agronomie. La céréaliculture, toutefois, fait l'objet d'initiatives de développement ambitieuses, la forte croissance démographique du pays aiguisant la problématique de l'autosuffisance alimentaire.

Dans l'outre-mer tropical, la structuration de la recherche en instituts indépendants, rattachés à des filières d'exportation, répond à l'objectif de moderniser ou d'établir des

9. Après sa thèse de docteur-ingénieur de 1938, il avait soutenu en 1944 une seconde thèse de philosophie intitulée « De la méthode en agronomie », préparée sous la direction de Gaston Bachelard. Il poursuivra cette réflexion épistémologique tout au long de sa carrière, notamment *via* de multiples « notes » à l'Académie d'agriculture de France (Hénin, 2016).

plantations exploitées en monoculture, et d'augmenter les rendements pour maximiser la production et la rentabilité des entreprises exportatrices. Manquant de devises, la France compte sur son empire, puis sur une sphère d'influence économique dans la zone intertropicale, pour alimenter en commodités agricoles et ligneuses une métropole en croissance. Le fonctionnement des instituts est étroitement lié aux intérêts privés : en Afrique occidentale française, le financement des instituts est soutenu par des taxes à la production, les producteurs fixant l'agenda de la recherche. En 1948, l'IRHO dispose de six stations expérimentales sur le seul palmier à huile. Le dispositif agronomique couvre un immense éventail de conditions écologiques et permet ainsi des comparaisons intersites qui, à défaut d'engendrer une synthèse à fondement explicatif, assoient une expertise mondialement reconnue. Cette priorité aux cultures d'exportation n'encourage toutefois pas les agronomes à apporter une expertise cohérente aux paysanneries autochtones comme ils le font en métropole. Il faut attendre les années 1960 pour que la situation évolue sur ce plan, en lien avec les processus de décolonisation.

Dans ce contexte, les disciplines scientifiques ne sont pas un facteur de structuration prioritaire. Certes, il y a besoin de compétences spécialisées et identifiées (en sélection variétale, en défense des cultures, en agronomie, etc.), mais ce qui compte avant tout, c'est la capacité à assurer une cohérence et une complémentarité pluridisciplinaires sur une culture donnée et dans une région donnée, pour proposer des techniques « optimales » (au sens de ce qui peut maximiser les rendements) et satisfaire les besoins des filières d'exportation. Les recherches sont donc organisées et programmées par culture. Au sein d'un même institut, les contacts entre chercheurs travaillant sur des plantes différentes sont rares, et quasi inexistants entre ceux relevant d'une même discipline, mais d'instituts différents. À ce cloisonnement institutionnel s'ajoute l'isolement géographique, car les déplacements sont longs et coûteux, aussi bien entre stations que vers la métropole. *In fine*, le terme d'agronomie est certes utilisé pour étiqueter les thèmes de recherche et profils de recrutement, mais les connaissances produites restent inféodées à l'espèce végétale considérée, et ne débouchent que rarement sur des publications génériques.

Le tournant postcolonial : menace pour la recherche agronomique, ouverture pour la recherche en agronomie

La recherche agronomique tropicale n'est pas exempte de débats et tensions institutionnelles dans l'après-guerre, une situation qui se traduit par de sourdes luttes entre les instituts spécialisés par produits et l'Orstom pour le contrôle de différentes disciplines, dont l'agronomie. Le destin de cette dernière en est fortement impacté, et son développement se différencie alors nettement entre les « univers » agronomiques métropolitain et colonial-tropical. Mais, dans les deux cas, la dimension appliquée, portée par les ministères de l'Agriculture et des Colonies, puis de la Coopération, finit par l'emporter face à la dimension scientifique, portée par la DGRST (Délégation générale à la recherche scientifique et technique, créée en 1959) et le MNHN.

Les années 1960 sont une période de grands bouleversements et de grandes incertitudes pour la recherche agronomique tropicale française. Le contexte de la décolonisation, marqué par une forte instabilité politique de certaines « jeunes nations » et par un problème massif d'émigration de populations rurales de l'intérieur des terres vers

des capitales côtières « macrocéphales », rend très aléatoire la programmation d'une recherche agronomique sur le moyen terme, tout particulièrement pour les productions vivrières. Par ailleurs, les nouveaux États issus de la décolonisation créent progressivement leurs propres institutions nationales en recherche agronomique. Mais, à la différence de ce qui se passe pour la Grande-Bretagne et la Belgique, la recherche agronomique est un des domaines qui bénéficient d'un renouveau partenarial entre la France et une bonne partie de ses anciennes colonies et protectorats (hormis la Guinée). Après la décolonisation, les instituts poursuivent ainsi l'appui aux producteurs (les planteurs sont encore souvent français ou salariés de sociétés françaises) et maintiennent l'influence de la France. Leur statut privé leur permet une grande souplesse d'adaptation. Cette évolution a cependant des conséquences importantes sur le fonctionnement des huit instituts de recherche tropicaux : s'ils voient leurs effectifs d'ingénieurs augmenter, ils sont déstabilisés scientifiquement et financièrement par la perte de certaines de leurs bases d'outre-mer, notamment en Asie. Cette évolution est en partie compensée et masquée par une redistribution des cartes avec l'Orstom. Ainsi est créé en 1958 l'Institut français du café, du cacao et autres plantes stimulantes (IFCC, renommé Institut de recherche, IRCC, en 1982), issu d'un service de l'Orstom dédié à ces cultures.

Le fait principal de cette période charnière est la création en 1960 de l'Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières (IRAT), dédié à la recherche agronomique et aux cultures vivrières, base de l'autonomie alimentaire des jeunes États indépendants. Son mandat est de « développer en régions tropicales des études et recherches appliquées en agronomie générale et cultures vivrières ». Une dizaine de stations sont créées non seulement en Afrique, mais aussi dans les départements d'outre-mer (DOM). Comme l'IFCC, l'IRAT est issu des services de recherche agronomique tropicale qui avaient été rattachés à l'Orstom à partir de 1953 pour accroître la production agricole, notamment vivrière, dans les régions tropicales. L'IRAT hérite de l'ensemble des responsabilités scientifiques et techniques de l'Orstom à Nogent-sur-Marne. Il bénéficie aussi de chercheurs mis à disposition par l'Office, et surtout des crédits gouvernementaux prévus pour le fonctionnement de ce dispositif métropolitain et la réalisation des programmes de recherche. Il hérite également de l'« agronomie générale », discipline auparavant « administrée » par l'Orstom, même si ce dernier, qui conserve par ailleurs un important service de pédologie, manifeste encore au début des années 1960 quelques velléités d'implication en agronomie, sous la houlette de Stéphane Hénin qui y place des élèves. Au sein de l'IRAT, la conception scientifique et généraliste de l'agronomie ne s'impose pas immédiatement, et les recherches vont longtemps rester programmées et organisées par espèce. Il faut attendre 1969 pour que soit créée une « division d'agronomie » qui se substitue à la « division des sols et de la phytotechnie ».

Le début des années 1960 est marqué par une vision assez pessimiste de l'alimentation dans les pays nouvellement indépendants, caractérisés par une forte croissance démographique, avec des risques de famine en Asie, en Afrique subsaharienne et en Amérique du Sud. René Dumont, depuis la chaire d'agriculture comparée de l'INA de Paris, sonne l'alarme sur l'échec du décollage des « jeunes nations » africaines, mobilisant une nouvelle génération d'agronomes du développement. Comme en témoigne Didier Picard, « je souhaitais faire de l'agronomie et mettre en œuvre l'enseignement que dispensait Stéphane Hénin à l'époque, pour apporter ma contribution aux problèmes soulevés par René Dumont » (Picard, 2008). Sous l'impulsion des fondations Ford et

Rockefeller, un système de coopération international est créé (il deviendra le Consultative Group on International Agricultural Research, CGIAR), basé sur un réseau de « centres d'excellence » installés dans les régions tropicales et ayant chacun un mandat bien défini[10]. La France reste toutefois en retrait de cette initiative et choisit de privilégier son propre dispositif d'appui à ses ex-colonies. De cette autonomie du dispositif français résultent un certain isolement par rapport aux grandes dynamiques scientifiques internationales, mais aussi un bénéfice pour l'agronomie : celui d'échapper à l'emprise des conceptions étroitement phytotechniques qui caractérisent la Révolution verte, alors triomphante en Amérique centrale et en Asie du Sud notamment.

Ouverture thématique et méthodologique : vers de nouveaux équilibres scientifiques

Une identité scientifique et technologique en gestation pour l'agronomie : la fertilisation raisonnée

En 1945 et pendant les quinze années qui suivent, le domaine de recherche qui se situe à l'intersection de la chimie agricole, de la nutrition minérale des plantes et de la gestion de la fertilité des sols constitue l'étendard de l'agronomie. Il est le « cœur de compétence » des stations agronomiques départementales. C'est à ce domaine que s'attache la spécificité qui commence à être reconnue à la section puis au département d'Agronomie de l'Inra, et c'est là que l'agronomie acquiert ses principaux « états de service » en matière d'efficacité technique. Elle a déjà ou aura bientôt à son actif la levée des carences ou excès d'acidité qui maintenaient les niveaux de rendement des cultures à des niveaux très bas sur de vastes régions comme la Champagne crayeuse, la Bretagne ou les immenses étendues occupées sous les tropiques par les sols ferrallitiques. La prédominance de cette thématique concerne aussi bien l'outre-mer que la métropole, malgré les différences d'organisation, voire même de conception des activités de recherche. Elle se maintient tout au long de la période, comme en témoignent les sommaires de la série « agronomie » des *Annales agronomiques* où sont publiés la plupart des travaux des chercheurs en agronomie de l'Inra[11].

Bien que désormais rattachée au département d'Agronomie, chaque station régionale de l'Inra garde une forte autonomie. Cette situation a pour corollaire une homogénéité thématique : en 1945, il est impensable pour une station d'agronomie digne de ce nom de ne pas avoir une double activité d'analyse et d'expérimentation sur les effets à plus ou moins long terme des matières fertilisantes ou des amendements, tout en ayant ses particularités dans le choix des thèmes et des protocoles. C'est la diversité des sols rencontrés au sein de « son » territoire qui guide le choix des thèmes et lieux d'expérimentation, puisque c'est la pédogenèse qui « explique » la hiérarchie des facteurs limitants.

10. Le premier centre créé est l'International Rice Research Institute (IRRI) aux Philippines en 1960, suivi de l'International Maize and Wheat Improvement Center (Cimmyt, maïs et blé) au Mexique en 1966.

11. De 1941 à 1970, environ 45 % des mémoires se rattachent à cet ensemble, dans une proportion remarquablement constante si on compare les trois décennies successives. Les études de cartographie des sols et autres monographies régionales viennent en deuxième position au cours des deux premières (environ 20 % des mémoires), mais régressent nettement dans la troisième (moins de 10 %), supplantées par les travaux sur l'eau et l'alimentation hydrique (environ 20 %), et ceux de physique du sol appliquée et sur les matières organiques du sol (environ 15 %).

Outre leur caractérisation physico-chimique et la mise en relation de celle-ci avec l'effet des engrais, la description des types de sol et de leur répartition territoriale est l'autre grand volet des activités de recherche, par définition inépuisable. À côté de l'Inra, l'industrie des engrais finance un gros effort d'expérimentation selon une approche avant tout empirique et statistique[12], avec pour chaque catégorie de culture des centaines d'essais dont les résultats sont exploités, là encore, en les stratifiant par région.

Outre-mer, durant cette période, l'amélioration génétique représente souvent la pierre angulaire de la stratégie de recherche des instituts. C'est le cas en particulier pour les cultures pérennes comme les oléagineux (palmier à huile et cocotier à l'IRHO), le caoutchouc (hévéa à l'IRCA) ou les cultures fruitières (bananier, manguier, avocatier, agrumes, ananas, etc., à l'Institut de recherches sur les fruits et agrumes, IRFA). Les travaux sont menés au sein de grandes stations de recherche dont la vocation première est de conduire des programmes pérennes d'amélioration génétique (La Mê et Port Bouët en Côte d'Ivoire par exemple). L'agronome a pour mission d'optimiser la production des différents cultivars en réponse au milieu. Comme en métropole, la maîtrise de la nutrition minérale constitue son fil rouge. Par rapport au regard privilégié qu'accordent au sol les chercheurs de l'Inra, le recours au diagnostic foliaire constitue une originalité notable (Martin-Prevel *et al.*, 1969) qui répond à une préoccupation majeure : la mise au point de programmes de fumure pour les plantations industrielles. Tout en étant très centralisée, avec des spécialistes installés à Paris qui mettent en œuvre des analyses sophistiquées, cette activité de recherche s'appuie sur un réseau de parcelles réparti sur plusieurs continents, couvrant ainsi une vaste gamme de climats et de sols, débouchant sur la mise au point de plans de fumure pour le compte de grands groupes gérant des milliers d'hectares dans le monde, en Afrique ou en Asie.

Outre-mer comme en métropole, le plus grand défi de l'agronomie de la fertilisation est la mise en cohérence des connaissances acquises dans des lieux et des conditions divers. Vers 1950, le cadre unificateur du raisonnement de la fertilisation est déjà présent dans les ouvrages d'Albert Demolon, s'appuyant sur la distinction entre raisonnement annuel et pérenne de la fumure selon les groupes d'éléments considérés, et sur le couplage entre dosage des éléments minéraux dans le sol ou plus rarement les plantes et courbes de réponse établies par expérimentation au champ (Demolon, 1956). Cependant, le raisonnement n'est encore formulé que de façon assez vague et ne se précisera véritablement qu'au cours des deux décennies suivantes. Grâce à la mise en œuvre de mésocosmes tels que cultures d'épuisement en pot (Chaminade, 1964) ou cases lysimétriques permettant d'établir des bilans d'éléments minéraux (Bastisse, 1953), la « boîte noire » qui s'interpose entre analyse de sol ou de plante et réponse aux engrais est progressivement ouverte. Les prémices d'une approche plus dynamique des processus, grâce à l'utilisation des isotopes radioactifs, apparaissent à la même époque (Barbier *et al.*, 1954). Le raisonnement est étendu à tous les éléments nutritifs, y compris les oligoéléments[13]. Les promoteurs de ce déploiement sont une nouvelle génération de chercheurs[14] qui, tout en ayant une

12. À l'exception notable des travaux menés par les services de recherche des Potasses d'Alsace, créés en 1947 à Aspach.
13. En 1970, un numéro spécial des *Annales agronomiques* leur est consacré.
14. Parmi lesquels Robert Blanchet, Marcel Coppenet, Louis Gachon, Jean Hébert, Christian Juste, dont à partir de 1950 les signatures sont fréquentes dans les sommaires des *Annales agronomiques* ou des *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture*.

formation classique en chimie, en pédologie et en physiologie végétale, s'inscrivent désormais dans la perspective à la fois explicative et généralisatrice de l'« école Demolon ». L'expression « fertilisation raisonnée »[15] apparaît dans la presse technique à la toute fin de cette période (Prats, 1970). Les bases d'un raisonnement général, explicite et quantitatif, des apports d'engrais sont établies : à partir des analyses de terre ou de plantes dont les protocoles sont stabilisés, et des références établies sur les besoins des cultures, on peut, pour une parcelle donnée, calculer et prescrire des fumures d'entretien ou de redressement ainsi que des apports correctifs en cas de carences en oligoéléments, sans oublier les amendements visant à maîtriser l'acidité des sols. Pour l'azote, Jean Hébert met en forme la méthode du bilan prévisionnel (Hébert, 1969), qui n'est encore opérationnelle que pour les céréales à paille et dans un périmètre géographique limité au département de l'Aisne. Ainsi s'établit un continuum entre dynamique des éléments minéraux dans le sol, alimentation et nutrition des plantes, réponse du rendement aux engrais et conseils d'apports de fertilisation quantifiés, commençant à formaliser le lien entre processus écologiques et processus techniques. Du point de vue de la double identité scientifique et technologique de l'agronomie, on a bien là une émergence certes très partielle et imparfaite, mais qui est appelée à un bel avenir.

Émergence et essaimage de la physique du sol appliquée

Dans la conception d'Albert Demolon, issue à la fois de ses propres expériences de terrain dans l'Aisne et de ses relations avec les scientifiques anglo-saxons, l'étude de l'objet « sol » ne saurait se limiter aux aspects chimiques, et doit comporter un volet physique d'importance égale, aussi bien d'un point de vue purement cognitif que du point de vue de la relation avec le comportement des plantes. Albert Demolon encourage donc ses disciples à s'engager dans cette voie, tout particulièrement Stéphane Hénin qui en est le grand promoteur en France, avec un rayonnement international notable, comme l'atteste la forte présence des chercheurs français au VIe Congrès mondial de science du sol en 1956. Dès 1960, l'étendue et la cohérence des travaux réalisés[16] aboutissent à la première édition d'un ouvrage intitulé *Le Profil cultural* (Hénin *et al.*, 1960), qui constitue un jalon dans l'histoire de l'agronomie française, à de multiples égards. Le succès de cette parution et la poursuite des travaux aboutissent à une édition revue et augmentée (Hénin *et al.*, 1969) qui connaît une diffusion encore plus large.

À la fin des années 1960, la physique du sol appliquée a essaimé dans plusieurs stations régionales, notamment Dijon-Époisses, où sont étudiés les effets des amendements calciques. Les jeunes recrues de l'Inra et de l'Orstom (dont certaines rejoindront ensuite l'IRAT) apprennent à réaliser les tests de stabilité structurale et à doser les matières organiques du sol, et leurs premiers sujets de recherche leur sont donnés dans ce domaine. Le monopole de la chimie agricole est désormais dépassé ; elle n'est

15. Jusqu'alors le terme consacré était « la doctrine des stations ».

16. Les axes principaux de ce développement sont la caractérisation des propriétés qui découlent de la composition granulométrique du sol (notion de texture), la description de la structure du sol, qui permet d'analyser l'influence des interventions culturales, la définition et l'analyse de la stabilité structurale, propriété qui conditionne le maintien de la structure face aux actions de dégradation par l'eau ; le lien de cette propriété avec les caractéristiques de composition du sol, tout particulièrement sa garniture ionique et sa teneur en matières organiques (Monnier, 1965) ; et enfin, pour « boucler la boucle » agronomique, l'évolution de cette teneur en lien avec les bilans organiques des systèmes de culture.

plus la seule à pouvoir établir le continuum entre processus écologiques et processus techniques. Mais si l'agronomie ne se confond plus avec la chimie agricole, on peut toujours se demander si elle est davantage qu'une application à l'agriculture de la science du sol.

Au-delà de la science du sol et de la bioclimatologie, un nouvel horizon pour l'agronomie

Au sein de l'Inra, le climat et ses incidences sur la production végétale sont étudiés au sein du département de Bioclimatologie, doté de fortes compétences en physique appliquée à la micrométéorologie. Les chercheurs de ce département sont bien insérés dans un courant de recherche international marqué par l'essor de l'écologie fonctionnelle et de l'écophysiologie. Les mécanismes énergétiques et le déterminisme climatique de l'évaporation et de la transpiration, ainsi que leur lien avec la photosynthèse, sont élucidés et modélisés. Aussi bien à l'Inra qu'à l'Orstom, Stéphane Hénin encourage des agronomes comme Lucien Turc ou Marcel Robelin à établir une interface avec les bioclimatologues, tout particulièrement sur le thème de l'eau, pour lequel la nécessité d'appréhender un continuum sol-plante-atmosphère est évidente, avec un prolongement technique non moins évident du côté de l'irrigation. La première édition du *Profil cultural* contient déjà plusieurs pages consistantes sur les bilans hydriques des cultures, établissant le rôle déterminant des réserves du sol, schématisé dans la notion de réserve utile (RU). Le lien est établi entre évapotranspiration, couvert végétal et production de biomasse (Robelin, 1962). Au sein du département d'Agronomie de l'Inra, mais aussi à l'Orstom et à l'IRAT, les facteurs de variation de la RU, les processus de transfert, le bilan hydrique des cultures et son impact sur la production végétale, sont étudiés certes par un effectif de chercheurs restreint si on le compare à celui des « chimistes agricoles », mais de façon suffisamment large et consistante pour constituer, à la fin des années 1960, un deuxième pôle d'ancrage de l'agronomie. En 1964, l'Inra publie *L'Eau et la production végétale*, ouvrage qui dresse l'état de l'art sur ce front de recherche. Les chercheurs de bioclimatologie y ont une place prédominante, mais plusieurs chapitres émanent du département d'Agronomie.

À l'IRAT, les recherches sur les relations eau-sol-plante sont déployées dès la création de l'institut. Outre l'irrigation, l'un des thèmes les plus étudiés est la répartition saisonnière de la pluviométrie et de la demande évaporative pour la rationalisation des calendriers culturaux. Ces travaux s'appliquent à de nombreux couples culture-région : riz pluvial en Côte d'Ivoire, maïs au Nord-Cameroun, canne à sucre au Burkina Faso et en Guinée. L'importation et la mise au point de nouvelles méthodes de caractérisation hydrique et hydrodynamique des sols, avec entre autres l'utilisation des humidimètres à neutrons, permettent d'appréhender le fonctionnement hydrique des sols de façon dynamique et générique, en prenant en compte leur diversité pédologique, particulièrement étendue dans le continent africain.

La diversification thématique impulsée par Stéphane Hénin est encore bien plus audacieuse si on considère l'enseignement supérieur agronomique et les sujets qu'il confie aux jeunes enseignants-chercheurs de l'équipe qu'il encadre à l'INA de Paris, notamment Michel Sebillotte et Jean-Pierre Deffontaines : étude de l'enracinement pour mieux interpréter le profil cultural, diagnostic sur le peuplement végétal à travers

l'analyse des composantes du rendement, effets des rotations culturales, liens entre rotations et assolement, potentialités régionales, etc. L'agronomie explore des niveaux d'organisation nouveaux qui vont de la station jusqu'au système de production, tout en abordant l'échelle régionale. Certes, il ne s'agit que d'exploration, mais c'est un saut qualitatif qui ouvre l'horizon de l'agronomie au-delà du champ d'application de la science du sol et de la bioclimatologie.

Outre-mer, l'horizon thématique était lui aussi déjà entrouvert au-delà de la fertilisation et de la gestion de l'eau et de l'alimentation minérale, mais plutôt du côté de la biologie végétale. Malgré leur caractère encore sporadique et fragmentaire, de nombreux travaux axés sur la plante annoncent le développement à venir de l'écophysiologie végétale : optimisation des angles d'insertion foliaire pour la captation de la lumière, résistance à la sécheresse, activité enzymatique des feuilles et des racines en relation avec la production, densités de plantation optimales.

Un début de révolution méthodologique ?

Les recherches sur la fertilisation ont pour perspective d'établir un lien entre analyses de terre et réponse du rendement aux apports d'engrais. Du point de vue des méthodes et des outils mis en œuvre, aucun de ces deux ensembles n'est spécifique de l'agronomie, c'est leur mise en synergie qui est sa marque de fabrique. Cette association progresse laborieusement, à partir d'un double courant de travaux plus ou moins bien coordonnés : d'un côté, la mise au point des méthodes d'extraction et de dosage, visant à affiner l'évaluation des « réserves assimilables » par les plantes, et, de l'autre, un considérable effort d'expérimentation multilocale, partagé entre les stations départementales, intégrées ou non à l'Inra, et l'industrie des engrais. Cette dernière privilégie une voie plus statistique basée sur la stratification régionale des courbes de réponse, et la recherche des doses optimales par région. Quel que soit leur degré d'empirisme, ces approches relèvent clairement de la posture prescriptive évoquée dans le chapitre 2 : en matière de fertilisation, l'agronome est un « expert ». Grâce à ses connaissances en pédologie et en physiologie végétale, il est en mesure d'identifier la cascade de facteurs limitants à lever successivement, et donc de définir les thèmes d'expérimentation, sans avoir besoin de consulter les praticiens ni même d'observer de façon approfondie le comportement des cultures en dehors de « sa » station expérimentale. Il est également de son ressort d'interpréter les résultats et d'en déduire les recommandations techniques.

Cependant, cette approche par expertise *ex ante* et expérimentation ne peut être aisément transposée à d'autres thèmes : tout ce qui relève des composantes physiques de la fertilité et de l'alimentation hydrique, ou même du choix variétal, est soumis à une variabilité climatique et technique plus forte, et redevable de critères d'évaluation moins simples que le seul rendement. La diversification thématique qui caractérise alors l'agronomie a pour implication une évolution nécessaire des démarches. Sous l'impulsion directe de Stéphane Hénin, une approche radicalement nouvelle s'affirme : l'agronomie « clinique », qui part de l'observation *in situ* pour élaborer des diagnostics sans *a priori* sur chaque situation particulière.

C'est particulièrement dans le domaine de la physique du sol appliquée que cette approche se structure. La première édition du *Profil cultural* contient déjà de nombreuses études de terrain qui permettent soit d'établir un diagnostic préalable sur un problème

signalé par les agriculteurs, soit de vérifier que ce problème correspond à l'extériorisation des processus étudiés au laboratoire. Les capacités de diagnostic acquises sur l'état physique du sol et sa modification par les interventions culturales doivent être étendues vers la plante, ce qui suscite un courant de travaux méthodologiques ayant pour but explicite le diagnostic au champ : étude de l'enracinement pour mieux interpréter le profil cultural, diagnostic sur l'histoire du peuplement végétal à travers l'analyse des composantes du rendement, analyse floristique des prairies. Ce courant ne va pas encore jusqu'à instaurer l'enquête comme démarche de recherche, et ne s'appuie encore que sur un arsenal d'outils d'observation et de mesure très rudimentaires : observation visuelle systématisée, comptages de plantes et d'organes végétaux. Mais sa mise en œuvre fournit aux chercheurs un socle qui, en retour, nourrit la problématisation et ouvre le regard de façon illimitée : à chaque tournée de terrain, par leurs propres observations ou en questionnant agriculteurs et techniciens, Stéphane Hénin et ses disciples découvrent de nouveaux sujets, dont ils extraient de nouvelles questions de recherche, unifiées par une même épistémologie et une même finalité « clinique ».

En métropole, la gestation de l'agronomie clinique a lieu dans des « niches », à l'interface de la recherche et de l'enseignement supérieur agronomique où s'est temporairement positionné Stéphane Hénin : la chaire d'agriculture de l'INA autour de Michel Sebillotte, et au sein de l'Inra le « groupe non sectoriel » autour de Raymond Gras et Jean-Pierre Deffontaines (Cornu, 2021). Outre-mer, elle se développe plus tardivement dans les instituts spécialisés dans les plantes pérennes, sans doute parce que les formes d'agriculture concernées, de type agro-industriel, donc plus demandeuses de normes techniques « standards », et les types de praticiens sont moins réceptifs à cette démarche réflexive.

L'agronomie clinique à l'épreuve du terrain

Modernisation et vulgarisation sont les mots-clés des décennies de la « révolution silencieuse ». En métropole, ce qu'on appelle « Développement agricole » est dévolu aux directions départementales des services agricoles (DSA), services de l'État sur le territoire, avant qu'un décret de 1966 ne transfère la maîtrise d'œuvre du développement à la profession agricole (chapitre 8). Le modèle d'innovation de cette période est caractérisé avant tout par une logique de rupture avec les savoirs locaux et les ressources endogènes, privilégiant les « paquets techniques » de la modernisation agricole, notamment la « révolution fourragère ». Initialement réduite à une version duale et asymétrique (recherche-vulgarisation), la segmentation du système de recherche-développement agronomique prend après 1966 une forme plus complexe et diversifiée qui recueille l'assentiment de chacune des parties prenantes, car elle favorise la reconnaissance croisée d'institutions naissantes ou encore jeunes, et les financements qui en découlent. L'Inra calque sa propre organisation interne sur ce schéma en créant en 1964 un Service d'expérimentation et d'information (SEI), explicitement chargé de la vulgarisation et des domaines expérimentaux (Cornu *et al.*, 2018). Les discontinuités que cette segmentation implique semblent n'entraver en rien le courant d'innovation technologique multiforme alimenté par l'agrochimie et les firmes semencières en pleine expansion, avec une contribution directe de l'Inra, notamment à l'innovation variétale.

Au moins jusqu'à la fin des années 1960, et avant que l'agronomie clinique ne commence vraiment à se diffuser, les postures dominantes sont celles de l'agronome-savant et du prescripteur, aussi bien en métropole qu'outre-mer. Dans les deux cas,

l'objectif qui prime est la définition de normes pour une agriculture standardisée qui doit rompre avec les pratiques traditionnelles. Cette rupture est vigoureusement affichée par les agronomes tropicalistes. La fertilisation est, comme en métropole, leur domaine-phare, et la prescription normative va jusqu'à l'établissement de plans de fumure pour les grands groupes. Cependant, la gamme des sujets techniques donnant matière à prescription est plus étendue : choix des sols propices à la mise en culture, irrigation, mécanisation, modes de plantation, etc. Les travaux de mise au point technique sont appuyés et financés par des accords de coopération avec des sociétés de plantation en place dans les pays concernés, souvent des sociétés à capitaux français. Parfois même, les agronomes du monde de la recherche contribuent directement à la gestion de grandes plantations à travers des contrats privés. En métropole et sauf pour la fertilisation, les chercheurs en agronomie ne s'engagent pas aussi largement dans la prescription. C'est sur la gestion de la fertilité qu'ils concentrent leur ambition en matière d'innovation et d'application. La « doctrine des stations agronomiques », selon l'expression d'Albert Demolon, propose dans ce domaine un raisonnement des apports assez sophistiqué. Une observation de la façon dont ont évolué les achats d'engrais en France révèle toutefois que cette doctrine a permis de légitimer l'utilisation en soi des engrais et amendements, sans réflexion poussée sur les quantités d'apports et leurs effets induits.

Du côté de Stéphane Hénin et de ses collaborateurs, la motivation qui pousse au développement de l'agronomie clinique n'est pas explicitement liée à un engagement vis-à-vis des enjeux et finalités agricoles. L'observation et le diagnostic des situations agricoles réelles sont plutôt considérés comme des exercices qui non seulement permettent la découverte de questions inédites, mais stimulent l'esprit critique. En s'y livrant, l'agronome est amené à construire des schémas d'interprétation, et à concevoir des stratégies d'investigation associant terrain et laboratoire. Il s'aguerrit en faisant face aux confusions d'effet, analogies anthropomorphiques et autres obstacles épistémologiques analysés par le philosophe Gaston Bachelard, le maître à penser de « l'école Hénin ». Les recommandations techniques ne sont pas éludées, mais elles résultent d'un diagnostic auquel le praticien a participé, en donnant des informations sur ses interventions. Elles sont formulées de façon non impérative et laissent un large choix au praticien : plutôt que comme une prescription, elles apparaissent comme la mise à l'épreuve de la cohérence de l'interprétation agronomique de la situation. La dimension technologique de l'agronomie prend ainsi une valeur heuristique qui va bien au-delà de l'« application » au sens conventionnel du terme. Son caractère identifiant et structurant est clairement énoncé par le titre même de l'ouvrage qui, même s'il est publié tardivement, synthétise les conceptions élaborées à cette époque au sein du « groupe non sectoriel » : *Le Fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude* (Gras *et al.*, 1989). Le SEI lui-même est contaminé par cette attitude et prend ses distances avec l'établissement de références normatives. En matière de systèmes fourragers, certains de ses membres passent plus de temps à enquêter à l'extérieur des stations expérimentales qu'à établir des expérimentations comparatives (Cornu, 2021).

L'agronomie clinique et la posture de diagnostic-conseil qui l'incarne trouvent un accueil et un écho importants dans le nouveau monde du développement et de la recherche-développement sous tutelle professionnelle agricole. Elles entrent en résonance avec la vaste dynamique d'essai-erreur mutualisé (chapitres 2 et 8), qui est alors

sous-jacente à la modernisation agricole et aux organismes de vulgarisation et de partage d'expériences qui portent la dynamique. Cette rencontre entre deux courants radicalement étrangers l'un à l'autre – l'un fondé sur l'épistémologie, l'autre braqué sur « le progrès technique » – va fructifier sur l'immense éventail de questions agronomiques ouvert par la révolution technique agricole. Stéphane Hénin et ses disciples établissent un dialogue approfondi avec certains instituts techniques, notamment avec l'Institut technique des céréales et des fourrages (ITCF) et le Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains (Cetiom) sur les questions de travail du sol et de rotations culturales, dont les bases agronomiques sont remises en question du fait de l'irruption des herbicides chimiques[17]. À l'Académie d'agriculture de France, les agronomes commencent à faire entendre une voix spécifique sur les questions liées à la modernisation agricole, notamment sur l'intensification fourragère qui s'avère moins simple qu'annoncé (Bouvier, 2021).

Parmi les disciples de Stéphane Hénin, un petit nombre, au premier rang desquels Michel Sebillotte, s'implique plus encore dans la coopération avec le développement agricole en métropole, car ils discernent la synergie qui peut en découler pour autonomiser et légitimer la recherche en agronomie. Ils établissent des contacts étroits et réguliers avec les techniciens agricoles et avec les groupes de développement, tels que les Centres d'études techniques agricoles (CETA) et les Groupements de vulgarisation agricole (GVA), alors en plein essor. C'est dans des revues non académiques, voire même dans la presse technique agricole[18], que paraissent certains articles qui deviendront des jalons emblématiques de l'émergence de l'agronomie clinique. Certes, un engagement aussi poussé reste très marginal parmi les chercheurs, et ce n'est pas un hasard si ce sont des enseignants-chercheurs qui en sont les promoteurs : les chambres d'agriculture et autres instituts techniques offrent un potentiel d'embauche considérable pour les jeunes ingénieurs. Mais comme ceux-ci sont désormais considérés comme devant être « formés par la recherche », la cloison recherche-développement commence à perdre de son étanchéité.

Dans le monde tropical, on observe une évolution analogue qui fait passer d'un système prescriptif sommaire descendant à un schéma de transfert plus sophistiqué, où la problématique d'adaptation de l'innovation au contexte est encore plus prégnante qu'en métropole. Les agronomes de l'IRAT, qui travaillent essentiellement avec des petits producteurs, y sont très sensibles. L'évaluation agronomique et socio-économique des situations y est dès 1960 considérée comme un préalable nécessaire pour bâtir des scénarios d'avenir. Pour l'agronomie, cela consiste à identifier et recenser les principaux facteurs limitants de l'agriculture locale. Cette première étape est suivie du test et de l'évaluation de systèmes de culture pilotes en station expérimentale. Les modes d'intervention qui découlent de cette phase expérimentale servent ensuite de base à des scénarios de développement régional. De telles démarches sont établies sur le riz à Madagascar (lac Alaotra) et au Brésil (Maranhão, Mato Grosso). Malgré quelques réussites ponctuelles, les résultats restent toutefois peu mis en œuvre par

17. En 1969 se déroule à Versailles un congrès du Comité français de lutte contre les mauvaises herbes, structure associative interprofessionnelle et interdisciplinaire très active, avec une forte participation de l'Inra et deux communications (Monnier, 1969 ; Sebillotte, 1970) qui font date.
18. Entre autres, *Bulletin technique d'information* du ministère de l'Agriculture, *Fourrages, Revue agricole de France, Bulletin des CETA, Entreprises agricoles.*

les paysans, ce qui conduit à mettre l'accent sur les canaux de diffusion en aval des stations de recherche – services de vulgarisation, sociétés de développement –, qui dans les faits sont avant tout structurés en filières par espèces ou groupes d'espèces. La difficulté à intégrer ou faire percoler le « progrès technique » dans les systèmes de production paysans existants s'inscrit au centre de débats sur l'efficience des systèmes de recherche et de vulgarisation.

Malgré des expériences d'implantation d'essais multilocaux chez des producteurs d'arachide au Sénégal sous l'égide du Centre de recherches agronomiques (CRA) de Bambey dans les années 1950, il faut attendre le début des années 1960 pour que les recommandations prennent vraiment en compte les réalités paysannes de la zone sahélienne. Et ce n'est que dans la période suivante qu'émergera et s'affirmera la posture d'accompagnement qui prend en compte de façon systémique les interactions entre recherche, développement et production.

▸▸ Des années 1970 aux années 2000, la construction de l'agronomie moderne

Après une phase d'émergence encore incertaine, l'agronomie va s'édifier et s'identifier progressivement, non sans allers-retours et crises conjoncturelles plus ou moins graves, mais finalement génératrices de progrès et de reconnaissance institutionnelle. D'un point de vue chronologique, ce parcours se place à des dates différentes selon les contextes. C'est particulièrement net si on compare le contexte métropolitain et les pays en développement de l'aire francophone. Cependant, par-delà cette diversité des cadres géographiques et institutionnels, se dégage une trame générale de développement thématique et méthodologique de l'agronomie, étroitement liée à une évolution des relations recherche-développement, chercheur-praticien, et plus globalement agronomie-agriculture-société. Dans cette trame, la rencontre des enjeux environnementaux va être une épreuve de vérité, dont finalement l'agronomie sort « augmentée ».

Des parcours institutionnels variés et plus ou moins tourmentés

L'agronomie : champ d'expertise, domaine de recherche ou discipline à part entière ?

Il n'y a pas d'acte ni de date de naissance de l'agronomie comme discipline scientifique. Cependant, il y a bien un moment, à la charnière des décennies 1960 et 1970, avant lequel l'agronomie est du point de vue de la recherche scientifique française plutôt un domaine qu'une discipline, et après lequel, pour au moins une partie des chercheurs, elle est devenue une discipline à part entière, qui leur confère une identité thématique et méthodologique et leur permet de se situer par rapport à d'autres communautés de recherche. C'est en 1967 que Stéphane Hénin présente l'agronomie comme « une écologie appliquée à l'amélioration de la production et à l'aménagement du territoire », dans un article publié dans *Économie rurale*. À la toute fin des années 1960, l'agronomie a acquis droit de cité au sein de l'enseignement supérieur agronomique, certes de façon très inégale selon les établissements (chapitre 7), ainsi que dans une partie de la recherche-développement appliquée métropolitaine sous tutelle professionnelle.

En 1974, Michel Sebillotte publie un manifeste fondateur[19] qui formalise une large part du socle conceptuel et méthodologique de l'agronomie moderne.

Dans les organismes de recherche publique, au début des années 1970, le statut de l'agronomie est toutefois encore assez mal défini. À l'Inra, les recherches menées au sein du département éponyme couvrent un champ vaste et hétérogène qui va de la minéralogie des argiles aux potentialités régionales en passant par les rotations culturales, même si un contingent important de chercheurs reste axé sur le cœur historique issu de la chimie agricole appliquée à la fertilisation. Le vocable « agronomie » correspond donc plutôt à un domaine qu'à une discipline, et encore moins à une communauté scientifique.

Dans la recherche tropicale, la discordance entre définition et statut de l'agronomie est d'une autre nature. Qualifié d'expert ou de phytotechnicien, l'agronome y est considéré à la fois comme le spécialiste d'une plante et comme un « assemblier » qui, maîtrisant un ensemble de connaissances larges, propose une optimisation de techniques culturales dans un contexte donné et pour un cultivar donné (Charpentier *et al.*, 1995). Pour cela, il doit établir des référentiels pour chaque technique, en s'appuyant sur de vastes réseaux expérimentaux. En revanche, les agronomes ne disposent que rarement de laboratoires dédiés, alors que des laboratoires de technologie, phytopathologie, biochimie et même biométrie existent dans chacun des instituts, et constituent des foyers de développement des disciplines dont ils relèvent. Le corpus théorique propre à l'agronomie est surtout discernable par son échelle d'étude et de préconisation, la parcelle, considérée comme un tout homogène. Ce n'est qu'à partir des années 1980 que des recherches intégrées vont émerger, considérant les cultures au sein d'une exploitation comme un système, dans un contexte écologique et social donné. La création du Cirad, en décloisonnant les recherches conduites dans les instituts spécialisés, va favoriser ces approches, avec pour conséquence un nouveau positionnement de l'agronomie.

L'agronomie au sein de l'Inra : le défi de l'académisation de la recherche

Avec le départ à la retraite de Stéphane Hénin à la fin des années 1970, la période qui suit est celle d'un déclin de l'agronomie au sein de l'Inra, débouchant sur une véritable crise du renouvellement des idées et des recrutements. Un premier événement majeur est la création en 1974 d'un département de Science du sol par scission du département d'Agronomie, conséquence de la montée en scientificité et de la spécialisation de l'ensemble de la recherche agronomique française. Comme en témoigne Jean Mamy (1999), « à l'intérieur du département d'Agronomie, plusieurs équipes s'étaient à la longue individualisées. Elles ne s'intéressaient plus seulement au sol en tant que support de la plante [...], mais en tant que milieu ou objet d'étude autonome. Elles considéraient que l'agronomie était la discipline de la conduite de la culture et de la fertilisation, même si elle s'intéressait au travail du sol et aux itinéraires techniques, le sol n'étant guère, pour elle, que le support un peu inerte de la végétation. Les équipes de chercheurs regroupés autour de Chaussidon ou de Pédro, les microbiologistes des sols qui étaient à Versailles puis se sont regroupés par la suite à Dijon, accordaient au sol un rôle plus important,

19. Élaboré lors de la préparation d'un dossier de concours de professeur à l'INA Paris-Grignon, et publié dans la série *Biologie* des *Cahiers de l'Orstom*, il s'intitule : « Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome ».

réclamant des moyens et des modes d'approche plus spécifiques. Aussi poussaient-elles à la création d'un département autonome de science du sol, regroupant en son sein des physico-chimistes, des physiciens, des microbiologistes. Le partage qui s'est fait entre le département d'Agronomie et celui de science du sol a été réalisé sur cette base-là : ont été regroupés en science du sol tous les gens qui, comme moi, travaillaient sur le sol, en tant qu'objet d'étude et de compréhension, et en agronomie, tous ceux qui prêtaient une plus grande attention aux problèmes de conduite des cultures ».

Au sein du département qui garde l'intitulé d'Agronomie, placé sous la direction de Louis Gachon, le domaine « nutrition minérale-fertilisation » retrouve mécaniquement une prépondérance qu'il était en train de perdre, et ce alors même que son renouvellement y était circonscrit à quelques thèmes de recherche, principalement celui du cycle de l'azote. L'apparente stagnation, si ce n'est le repli thématique et méthodologique du département, n'est sans doute pas étrangère à la forte implication de certains agronomes dans la création du département Systèmes agraires et développement (SAD) en 1979, notamment ceux des groupes animés par Jean-Pierre Deffontaines à Versailles, ainsi que par Michel Sebillotte à la chaire d'agronomie de l'INA P-G. Même si le rejet du réductionnisme physico-chimique ou biologique et la volonté de mettre en œuvre l'agronomie-système (Cornu et Meynard, 2020) sont des motivations explicites de migration au département SAD, cette création ne génère pas véritablement de schisme parmi les agronomes de la recherche, dès lors qu'ils ne constituent pas vraiment une communauté scientifique distincte, au contraire de ce qui se passe en génétique animale ou en zootechnie (Cornu, 2021). D'emblée, le département SAD se présente comme un lieu d'exploration et de coopération interdisciplinaires, tourné vers une forme d'ingénierie réflexive du développement agricole. La communauté qu'il regroupe se situe à la charnière des sciences biotechniques et des sciences sociales, s'ouvrant ultérieurement sur les sciences de gestion et l'ergonomie, dans la foulée des explorations méthodologiques initiées par Marianne Cerf (Cerf, 1994). Pour l'agronomie, ce département est donc plutôt un terrain d'expansion qu'un foyer contestataire, ce qu'atteste le fait que plusieurs chercheurs restent « double-appartenants ». Il n'empêche que, vue par des observateurs extérieurs, et si on l'identifie à ce qu'étudie à l'Inra le département éponyme, l'agronomie prend une apparence résiduelle et passéiste. Au tournant des années 1980, seul un petit nombre de chercheurs proches de la retraite représente désormais le département d'Agronomie à Versailles. Ce dernier apparaît de nouveau comme une fédération de stations régionales, pour ne pas dire un département-vestige du réseau des stations départementales hérité de la IIIe République.

Au cours de cette période, la question du rattachement de l'agronomie à un « secteur » scientifique reçoit des réponses variables et plus ou moins opportunistes : certains commencent à voir dans le département d'Agronomie une réserve de postes à dépecer… Il y a cependant de vraies questions de fond sous-jacentes et l'option finalement retenue, le secteur scientifique dénommé à l'époque « Milieu physique », traduit bien le lien fondamental de l'agronomie avec l'écologie fonctionnelle plutôt qu'avec une biologie végétale qui privilégie des niveaux d'organisation de plus en plus fins, dominée par le secteur de l'amélioration des plantes et en particulier la recherche en biologie moléculaire, fortement soutenus à l'Inra.

De fait, la structure géographique très éclatée du département bloque toute évolution significative. Les fermetures de plusieurs petites stations, qui se réalisent au compte-gouttes non sans laborieuses tractations tant internes qu'avec les collectivités territoriales,

ne modifient cette situation qu'à la marge. L'action des chefs de département s'en trouve considérablement entravée, les « schémas stratégiques » de cette époque consistant essentiellement à répartir les recrutements à solliciter auprès de la direction générale de l'Inra, d'ailleurs de plus en plus difficilement concédés. Comme en témoigne Didier Picard, nommé chef de département Agronomie en 1985 après une carrière à la croisée des agronomies tropicale et métropolitaine, « un des problèmes du département d'Agronomie jusqu'à la fin des années 1990 était une dispersion excessive des chercheurs sur une vingtaine de stations et finalement, à l'échelle du département, une situation un peu comparable à celle que j'avais connue en modèle réduit à mon arrivée à Colmar, c'est-à-dire peu d'unités constituées, beaucoup de chercheurs fonctionnant sur un modèle individuel – un chercheur, un technicien, un sujet – ou de petite équipe, trop peu de communication et d'échanges constructifs entre ces petites équipes. Ma préoccupation était beaucoup plus d'arriver à organiser de vrais échanges scientifiques au sein du département, entre des personnes travaillant sur des sujets très complémentaires, mais qui étaient relativement dispersées géographiquement » (Picard, 2008).

À partir du rattachement de l'Inra au ministère de la Recherche et de la Technologie en 1984, la montée des exigences scientifiques et les procédures d'évaluation qui en sont le corollaire constituent une menace existentielle pour une discipline qui a certes renforcé son corps de doctrine, mais qui n'a guère pris la peine de le faire valider au-delà de son propre cercle. La généralisation des évaluations individuelles, puis collectives en 1991, instaurant la notion d'équipe de recherche, représente un défi de premier ordre au sein du département. Hormis une minorité de chercheurs actifs sur les nouveaux fronts de science, la plupart des chercheurs et des stations expérimentales d'agronomie peinent à répondre aux injonctions à l'excellence de la direction générale scientifique de l'Inra, incarnée par le biophysicien Guy Paillotin. À quelques exceptions près, les agronomes français sont encore peu visibles dans les publications en langue anglaise et dans les revues internationales. En 1981, les *Annales agronomiques* sont sur le point de disparaître, du fait de leur absence d'impact international, alors que leur diffusion dans l'Hexagone commence à s'éroder. Bénéficiant d'un sursis, elles donnent naissance à la revue *Agronomie*, intitulé dont l'ambiguïté est révélatrice puisqu'il recouvre deux séries, l'une d'amélioration des plantes, l'autre d'agronomie *stricto sensu*. Son nouveau comité de rédaction doit faire la preuve que les agronomes peuvent se conformer à des standards de publication honorables.

Au déficit de dynamisme scientifique et de reconnaissance académique s'ajoute un décalage de positionnement par rapport aux enjeux de l'époque. Entre le rapport signé par Jacques Poly en 1978 « Pour une agriculture plus économe et plus autonome » et l'arrivée de la gauche au pouvoir en 1981, l'émergence des enjeux environnementaux et la prise de conscience de leur lien avec les pratiques agricoles constituent une nouvelle donne qui va à la fois mettre l'agronomie en danger et lui offrir les clés d'une relance (Cornu et Valceschini, 2019). Mais cette opportunité n'est saisie que tardivement. Le « Rapport Hénin » de 1980 sur le lien entre intrants agricoles et pollution des eaux est à cet égard un premier jalon, et beaucoup de chercheurs du département d'Agronomie s'y impliquent fortement. Cependant, il n'a guère d'impact sur les orientations collectives du département, qui peine à se détacher des finalités d'augmentation des rendements et d'optimisation des apports d'intrants. Ce sont les départements de Science du sol et de Bioclimatologie qui s'emparent des enjeux environnementaux.

À la fin des années 1980, l'existence même du département d'Agronomie est remise en cause de toutes parts, y compris à la direction de l'Inra. Les critiques les plus vives proviennent à la fois du secteur Environnement physique et Agronomie auquel est rattaché le département, portant sur l'insuffisante prise en compte des problématiques environnementales et sur l'absence de stratégie scientifique, et des disciplines de biologie végétale, qui fustigent le caractère rétrograde de l'approche « plante entière ». Les instances dirigeantes du département sont mises en demeure de présenter un plan de rénovation, dont les premières versions sont à plusieurs reprises jugées insuffisantes. Cette situation de crise a pour effet d'accélérer l'arrivée aux responsabilités d'une nouvelle génération d'agronomes frottés tout à la fois à l'internationalisation de la recherche, à l'interdisciplinarité et aux questions sociétales. En 1992 est proposée une restructuration thématique et géographique du département, avec la formalisation de trois champs thématiques, la mise en place d'un « partage des tâches » à l'échelle nationale, corollaire d'un énoncé collectif des thèmes (Boiffin et Lemaire, 1992) et d'une nette reconnaissance des enjeux environnementaux. C'est la fin de l'époque des baronnies régionales.

Suite à l'examen de ce projet, l'institut opte finalement pour conserver un département d'Agronomie, sur la base d'un nouveau schéma stratégique (Collectif, 1993), et en le dotant d'un conseil scientifique fortement renouvelé. Les inquiétudes que suscite dans le monde agricole la réforme de la PAC de 1992 et la montée en son sein d'un sentiment d'éloignement, si ce n'est d'abandon de la part de la recherche, ne sont sans doute pas étrangères à ce choix. Plus globalement, l'agronomie bénéficie *in extremis* d'un changement d'orientation stratégique au sein de l'Inra. Guy Paillotin, devenu président de l'institut en 1991, essaie de développer une pratique moins étroitement sectorielle de la relation à la demande sociale, et de nouveaux modes de concertation et de partenariat. La direction générale fait pression sur les communautés de chercheurs pour leur faire intégrer de nouvelles préoccupations. Les problématiques d'alimentation et d'environnement ont désormais droit de cité et font l'objet de grands programmes transversaux. Guy Paillotin fait de Michel Sebillotte son « éclaireur » sur les questions agriculture-science-société, en le plaçant en 1993 à la tête d'une Délégation à l'agriculture, au développement et à la prospective (DADP). De façon concomitante, la direction de l'Inra prend conscience des dangers de la polarisation académique, et impulse une dynamique de réflexion inédite sur la diversité des « produits » de la recherche, qui revalorise l'innovation et l'expertise. Pour les agronomes, cette nouvelle donne converge avec la prise de conscience, qui a fini par s'imposer, de la nécessité de sortir du confort de l'agronomie de station et du potentiel de renouvellement qu'offrent pour leur discipline les enjeux alimentaires, environnementaux et territoriaux.

Formalisée à l'interface de l'agronomie, de la zootechnie et des sciences sociales, la notion de multifonctionnalité agricole (Béranger, 2001 ; Hervieu, 2002) qui émerge lors du Sommet de Rio en 1992 confirme et élargit ce tournant. Elle encourage la régénération de l'agronomie (Boiffin, 2001) et contribue à réintégrer les interventions techniques comme objets de recherche « nobles », au titre de leurs impacts environnementaux, et plus globalement de l'évolution des attentes des citoyens et consommateurs vis-à-vis des activités agricoles. À la fin des années 1990, l'agronomie est ainsi de nouveau en mesure de jouer sa propre partition dans la refonte générale de l'organisation de la recherche.

Dans la recherche tropicale, une agronomie en quête d'un espace scientifique propre

La montée en scientificité de la recherche agronomique tropicale pose le problème de l'équilibre entre pôles métropolitains et stations immergées dans les pays partenaires. À une division ancienne entre formation, administration et programmation en métropole, et travaux de base, accueil de stagiaires et vulgarisation en station, se substitue peu à peu un schéma plus complexe, marqué par la création de grands équipements scientifiques en métropole. À partir des années 1960, des laboratoires s'établissent ainsi à Paris, puis à Montpellier à partir de la création du Groupement d'études et de recherche pour le développement de l'agronomie tropicale (Gerdat) (Volper et Bichat, 2014). À l'IRFA et dans d'autres instituts, on note la création de services de biométrie qui réalisent l'analyse statistique des essais agronomiques. Ces créations de laboratoires renforcent la dimension scientifique de l'agronomie tropicale française, et sa capacité à dialoguer avec les autres organismes internationaux.

En juin 1970, le comité de liaison qui réunissait régulièrement les représentants des huit instituts prend la structure juridique d'un groupement d'intérêt économique (GIE) : le Gerdat, placé sous l'égide du ministère de la Coopération. Chaque institut y garde son statut propre et son autonomie d'orientation, toujours dédiée à une filière donnée. Même dans le domaine des cultures vivrières, à l'IRAT, la recherche reste organisée et programmée par plante : on distingue les programmes riz, maïs, sorgho et mil ou arachide (Tourte *et al.*, 2002). Les tubercules (manioc, igname), pourtant à la base de l'alimentation des populations d'Afrique humide, restent peu étudiés.

Au terme de plusieurs années de négociations et d'incertitude, le Cirad est créé le 8 juin 1984, ce qui va profondément changer la donne. Après quarante ans d'existence, les instituts d'origine organisés par filière (Braud, 1993; Surre, 1993; Charpentier *et al.*, 1995) mutent et se transforment. Ce nouvel organisme regroupe les instituts du Gerdat en un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), placé sous la double tutelle du ministère chargé de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères et du Développement international. Les instituts d'origine donnent naissance à des « départements » au sein du nouvel organisme. Ainsi l'IRCA, l'IRCC et l'IRHO se regroupent pour former le département des Cultures pérennes (CP); l'IRFA devient le département des Fruits, légumes et horticulture (Flhor); l'IRAT et l'IRCT deviennent le département des Cultures annuelles (CA).

En juillet 1984 est créé un nouveau département à intitulé transversal, le Département des systèmes agraires (DSA) (Tourte, 1997). La recherche agronomique tropicale prend désormais en compte de façon explicite les systèmes de production non seulement comme échelle d'étude, mais comme thème structurant pour la recherche. Les aspirations des sociétés rurales et la demande sociale sont des enjeux affichés. Ainsi se met en place une agronomie plus intégrée, à côté des approches thématiques, analytiques et spécialisées par filière des autres départements. La démarche n'est pas sans rappeler la création du département SAD à l'Inra, mais elle a ici une ambition plus structurante, qui va au-delà du caractère exploratoire et du statut atypique qu'a ce département au sein de l'organisme métropolitain. À l'heure où les principales innovations auxquelles s'attelle la recherche agronomique sont dictées par des impératifs technicistes et productivistes, le DSA cherche à entrer en interaction avec le petit paysannat.

La dialectique entre une approche « verticale », par produit et par filière, qui construit puis diffuse un message technique, et une approche « ascendante », qui part du milieu rural et propose des voies de développement local, bat alors son plein au Cirad. Au gré des acteurs et des demandes, le Cirad peut ainsi orienter son offre. Les approches « système » se mettent en place dans la plupart des départements au sein des cercles d'agronomes, dans une ambiance de circulation des idées qui contribue à briser le cloisonnement entre recherches métropolitaine et tropicale. Ce tournant a aussi pour conséquence la possibilité pour les chercheurs appartenant à une discipline de se regrouper de façon transversale. Pour l'agronomie, cette opportunité coïncide avec l'arrivée d'agronomes inscrits dans la filiation de Stéphane Hénin, aussi bien à la base que dans les instances dirigeantes, à l'instar de Didier Picard, Hubert Manichon et Alain Capillon. Même si elle n'a pas de département propre au Cirad (tous les départements restent pluridisciplinaires), l'agronomie s'identifie à travers la création de structures d'animation et de réflexion qui lui donnent l'espace dont elle manquait jusqu'alors.

Extension thématique et renforcement méthodologique de la recherche en agronomie

À travers ces avatars institutionnels et à la faveur d'importations et d'interactions fécondes avec les autres disciplines, la recherche en agronomie conquiert de nouveaux espaces thématiques, tout en progressant sur ceux déjà investis. Cette évolution se réalise non pas comme une progression orchestrée, mais à travers différents fronts de recherche particulièrement actifs pendant cette période, où se combinent exploration de nouvelles problématiques, innovation conceptuelle – souvent par emprunt, mais parfois aussi par création endogène – et progrès méthodologiques.

Les suites agronomiques du *Profil cultural*

Au début des années 1970 à l'Inra, la physique du sol appliquée poursuit son essor dans deux directions complémentaires, étroitement liées par l'héritage intellectuel de Stéphane Hénin, et par la complicité qui perdure entre ceux qu'il a formés. Au sein du nouveau département de Science du sol de l'Inra, l'équipe de Gérard Monnier aborde de nouveaux processus d'évolution de la structure du sol. À la suite de son transfert à Avignon, elle élargit son champ d'investigation aux problèmes de transferts hydriques et thermiques. Au sein du département d'Agronomie puis du département SAD, c'est à Paris et Grignon, autour de Michel Sebillotte, que se poursuivent les recherches sur le profil cultural[20], pour le systématiser en tant que méthode de diagnostic (Manichon, 1982a), mieux comprendre son évolution sous l'effet des interventions techniques et du climat (Manichon et Sebillotte, 1975 ; Papy, 1984), et analyser son influence sur le fonctionnement du peuplement végétal par l'intermédiaire du système racinaire et de la germination des semences (Bruckler, 1979 ; Tardieu, 1984 ; Richard, 1988).

Les interactions entre ces équipes donnent naissance, au cours de la décennie 1980, à un fructueux courant de recherche aux multiples ramifications : travail du sol, enracinement et implantation des cultures, évolution et gestion à moyen et long termes

20. La possibilité de délivrer des thèses de docteur-ingénieur à l'INA P-G (chapitre 7) stimule fortement ce courant de recherche.

de la fertilité physique des terres, érosion et protection des sols, jours disponibles et organisation des chantiers[21]. Ce courant est aussi présent à l'Orstom et à l'IRAT, avant de continuer à se développer au sein du Cirad. D'importantes avancées sont ainsi réalisées sur la fertilité des sols (Pieri, 1989). Au Cirad, des débats s'élèvent suite au développement d'une approche radicalement différente et plus normative, celle de l'agriculture de conservation, portée notamment par Lucien Séguy[22]. La vivacité de ces controverses et les divisions qui se manifestent sur l'analyse des performances des agricultures tropicales montrent que la communauté des agronomes est encore loin d'être unifiée sur un socle épistémologique commun.

Quoi qu'il en soit, le parcours accompli sur ce front de recherche illustre plusieurs des sauts qualitatifs qui caractérisent la construction scientifique de l'agronomie : intégration sol-plante, interprétation écologique de l'effet des techniques, articulation entre intervention technique et processus de décision, modélisation spatio-temporelle des processus, prise en compte des enjeux environnementaux. Se révèle ainsi la façon dont l'agronomie alimente et accompagne l'innovation agricole, notamment à travers la simplification du travail du sol en France (Labreuche *et al.*, 2014).

La composante technologique de l'agronomie prend forme

Travail du sol, fertilisation, irrigation : sur au moins trois grandes catégories de techniques, il est possible de concrétiser dans son intégralité la représentation conceptuelle de l'agronomie, c'est-à-dire le triangle climat-sol-plante influencé et actionné par les techniques, et d'en déduire des applications en matière de diagnostic ou de prescription, ce que ne font ni la bioclimatologie, ni la science du sol, ni la physiologie végétale. C'est bien à l'agronomie qu'il revient de développer cette spécificité. Mais l'approche technologique ne fait pas encore l'objet d'une véritable théorisation transversale. Toute la protection des plantes échappe à l'agronomie, d'ailleurs sans résistance de sa part, au profit des disciplines phytosanitaires : phytopathologie, entomologie, malherbologie, phytopharmacie. Ce n'est qu'à partir de la fin des années 1980 qu'elle se réapproprie la gestion phytosanitaire, d'abord à travers des démarches pionnières plus ou moins isolées[23], puis de façon volontariste à partir de 1993, avec la création d'une équipe de recherche sur les adventices à l'Inra de Dijon. Quant au choix variétal, ce sont les améliorateurs des plantes qui en assurent le leadership, et, sans en ignorer l'importance, les agronomes ne le revendiquent pas comme objet de recherche.

Cependant, un thème technique irréductiblement non sectoriel, et qui incombe de façon incontournable à l'agronomie, est celui des rotations et des assolements. Il fait d'ailleurs l'objet d'un courant historique d'expérimentations de moyenne et longue durée[24], à vrai dire d'ampleur et de productivité scientifiques bien modestes au regard

21. Pour une vision d'ensemble de ces travaux, voir Boiffin et Marin-Laflèche (eds, 1990), ouvrage édité à l'occasion du centenaire de la Station agronomique de l'Aisne.

22. Jusqu'à la fin des années 2000, ce courant de travaux reste à l'écart des revues et ouvrages académiques, et n'est publié que sous forme de « littérature grise », dont un inventaire est accessible *via* https://www.verde-terreprod.fr/bibliographie-de-lucien-seguy/. Pour une mise en perspective des recherches sur l'agriculture de conservation, voir Scopel *et al.* (2013).

23. Deux exemples marquants sont les thèses de Debaeke (1987) et Colbach (1995), cette dernière issue d'une collaboration, exceptionnelle à l'époque, entre épidémiologistes et agronomes (Colbach *et al.*, 1997).

24. Les plus célèbres sont celles implantées à Grignon par Dehérain.

du caractère monumental des travaux menés à Rothamsted en Grande-Bretagne. L'un des thèmes privilégiés y est la durabilité des monocultures (Péquignot et Récamier, 1961), auquel s'est ajouté au cours des années 1960 celui de l'effet des prairies temporaires dans la rotation, lié à la forte régression de ces dernières pour cause de spécialisation des systèmes de production. Au début des années 1970, les résultats de ces expérimentations commencent à être publiés[25], mais ils s'avèrent complexes, difficiles à interpréter et encore plus à généraliser, faute d'un cadre conceptuel permettant *a minima* de décortiquer en quoi consiste l'« effet rotation ».

Plus globalement, toutes les recherches en agronomie basées sur l'expérimentation au champ se heurtent au problème de la contingence des résultats vis-à-vis du passé cultural : si ce dernier ne peut être typé et caractérisé avec un certain degré de généricité, les résultats expérimentaux restent difficiles à généraliser. Un groupe de travail est créé au sein du département d'Agronomie de l'Inra et propose en 1975 une définition de la notion de *système de culture* (Gras, 1990). Il s'agit de la première véritable réflexion collective traduisant l'existence d'une communauté scientifique dédiée à l'agronomie. Ainsi légitimé comme concept, le système de culture est reconnu comme un sujet d'intérêt collectif (Combe et Picard, 1990). Jusqu'au milieu des années 1970, l'investissement expérimental sur ce thème se réduit toutefois à la création à Toulouse d'une plateforme dédiée au croisement entre rotations culturales et irrigation, principalement exploitée en tant que source de références technico-économiques (Marty *et al.*, 1984). Au début des années 1990 apparaît une nouvelle génération d'expérimentations s'appuyant sur la notion d'essai-système, mais les publications tarderont à venir, reportant d'au moins dix ans la reconnaissance de cette approche comme démarche de recherche fructueuse (Jeuffroy et Meynard, 2019).

Dans le même temps apparaît une autre avancée conceptuelle tout aussi marquante : l'« itinéraire technique ». C'est à partir des questionnements sur le travail du sol que Michel Sebillotte (1978b) la conçoit et la formule. C'est une nouvelle rupture – on pourrait dire le coup de grâce – par rapport à la relation directe technique-rendement, ouvrant un nouvel espace de recherche dont s'emparera le département SAD de l'Inra plutôt que celui d'Agronomie, au moins dans un premier temps.

En amont des « combinaisons logiques et ordonnées d'interventions techniques », il y a les processus de décision. Ils constituent un champ d'étude à part entière, avec des perspectives jusqu'alors insoupçonnées d'investigation et d'application, en interaction avec les sciences sociales, et plus particulièrement les sciences de gestion[26], mais aussi la biométrie. Ce champ d'étude s'étend sous des formes différentes à la plupart des grandes catégories de techniques culturales, y compris jusqu'à un niveau jusqu'alors peu abordé : celui du système de production, appréhendé par le biais de l'organisation des travaux en lien avec l'équipement et la main-d'œuvre (Papy *et al.*, 1988 ; Sebillotte, 1990). À la fin des années 1990 est enfin abordé le « bassin de production » comme entité fonctionnelle au sein de laquelle s'élabore la qualité des produits végétaux (Le Bail, 1997). Cette démarche pionnière articule les décisions techniques prises aux niveaux de la parcelle et de l'exploitation, avec celles des acteurs des filières, et insère

25. Voir par exemple Jacquard *et al.* (1969), qui inaugurent une série de quatre articles sur l'essai implanté à Lusignan, ou Boiffin *et al.* (1975), sur l'essai implanté à Montluel.

26. Notamment dans le cadre de grands projets de recherche-action pluridisciplinaires mobilisant des financements du ministère de la Recherche.

l'agronomie dans les contrats et cahiers des charges relatifs à la qualité des produits. Au passage, elle permet à l'agronomie de faire un premier pas, certes encore exploratoire, dans l'appréhension des problématiques liées à l'alimentation.

L'écophysiologie comme nouveau paradigme

Au tout début de la période considérée, la recherche en agronomie s'intéresse plus au sol qu'à la plante. C'est particulièrement le cas au sein du département d'Agronomie de l'Inra qui, à l'exception des travaux cités sur l'eau et la production végétale, et de quelques travaux encore menés à Antibes sous la direction de Denise Blanc et à Versailles par Serge Trocmé sur la nutrition minérale et les diagnostics de carence ou toxicité, semble déléguer au département de Physiologie végétale l'essentiel de sa responsabilité stratégique vis-à-vis du fonctionnement des plantes[27]. Mais la priorité donnée par les physiologistes au niveau d'organisation cellulaire et leur désintérêt croissant pour les échelles de la plante entière, et *a fortiori* du peuplement, rendent cette position intenable. Sous l'impulsion des promoteurs de l'agronomie clinique, les agronomes se donnent alors comme perspective centrale de comprendre l'élaboration du rendement (Combe et Picard, 1994) dans le but d'identifier ses causes de variation. La démarche s'appuie sur l'analyse des composantes du rendement, fondée sur l'observation phénologique, utile pour le diagnostic au champ mais dont la portée explicative reste assez limitée (chapitre 2, encadré 2.1).

La prépondérance du sol comme objet d'étude est moins marquée dans l'agronomie tropicale, qui à l'occasion s'aventure à la frontière de la physiologie végétale pour répondre aux questions posées par l'amélioration des plantes : optimisation des angles d'insertion foliaire pour la captation de la lumière, résistance à la sécheresse, activité enzymatique des feuilles et des racines en relation avec la production, densités de peuplement optimales, etc. Mais là encore, les travaux manquent de cohérence d'ensemble. C'est l'irruption d'un nouveau courant de recherche en écologie fonctionnelle, celui de l'écophysiologie végétale, qui permettra de jeter les bases d'une véritable stratégie de recherche autonome par rapport à la physiologie végétale. Ce courant est porté par la bioclimatologie, elle-même importatrice des approches, d'inspiration plus physique que biologique, élaborées au Royaume-Uni par Monteith et Penman (chapitre 4). La relation à trois pôles entre photosynthèse, rayonnement et transferts d'eau est établie à l'échelle du peuplement végétal (Gosse *et al.*, 1986), et ouvre à l'agronomie de nouvelles perspectives : en effet, cette échelle est non seulement celle à laquelle se mesure le rendement, mais aussi celle à laquelle sont appréhendées les relations plante-milieu et leur perturbation par les interventions techniques. Aux États-Unis, en Australie, aux Pays-Bas, ces approches fondatrices ne tardent pas à être exploitées et donnent lieu aux premières approches de modélisation des rendements (Bonhomme *et al.*, 1995; Bouman *et al.*, 1996; Jones *et al.*, 2003) (chapitre 2, encadré 2.3).

Initialement axés sur la micrométéorologie, les bioclimatologistes français s'y investissent de façon collective et volontariste dans les années 1980, en s'appuyant sur les opportunités de financement liées à la crise énergétique et à l'intérêt pour la biomasse végétale comme ressource alternative (Chartier, 1999). Cette dynamique converge

27. C'est d'ailleurs au sein du département de Physiologie végétale qu'ont été menés les célèbres travaux sur la nutrition azotée du blé (Coïc, 1956), qui constituent la base du fractionnement des apports d'azote.

avec la montée en puissance de l'écologie fonctionnelle au CNRS et à l'université, et des liens étroits s'établissent avec les leaders de cette discipline, à qui est confiée la formation de jeunes recrues. Au début des années 1980, l'écophysiologie représente au sein du département de Bioclimatologie un groupe important et désormais distinct de celui des micrométéorologistes. Il a toutefois, au départ, moins d'affinités stratégiques avec l'agronomie qu'avec l'amélioration des plantes[28].

C'est d'abord à travers des démarches individuelles[29] que l'agronomie s'intègre dans cette dynamique sur deux points d'accroche : l'alimentation hydrique et la nutrition azotée. Sur ce dernier thème, la thèse de Gilles Lemaire (1985) et la « courbe de dilution » de l'azote dans le couvert (Lemaire et Salette, 1984a ; 1984b) constituent des jalons cruciaux. Se situant dans le cadre théorique du paradigme « captation-conversion », ces travaux établissent le couplage entre les dynamiques du carbone et de l'azote au sein du couvert. Ils ouvrent par là une perspective d'interfaçage jusqu'alors insoupçonnable, entre l'écophysiologie des bioclimatologistes et l'agronomie de la fertilisation. Leur généricité, et aussi leur succès enviable en matière de publications et de notoriété internationale contribuent à accélérer un véritable basculement.

À partir du milieu des années 1980, l'écophysiologie devient le *mainstream* des recherches en agronomie, non seulement à l'Inra, mais également au Cirad. Dans un contexte de forte concurrence pour le renouvellement des postes de chercheurs, elle concentre une large part des recrutements et des moyens. Il faut en effet investir sur plusieurs espèces cultivées, avec le soutien des instituts techniques de filière qui mesurent le potentiel d'application de l'écophysiologie à l'augmentation des rendements. C'est d'ailleurs un phénomène international, et la Société européenne d'agronomie (ESA), fondée en 1991, est à peu de chose près une société européenne d'écophysiologie. L'écophysiologie sera le vecteur principal de l'internationalisation de la recherche en agronomie française, et c'est en bonne part dans ce champ thématique qu'elle réussira à relever le défi académique. La controverse « élaboration du rendement *versus* écophysiologie » est dépassée, grâce aux travaux menés en agronomie notamment à Grignon sur le blé ou à Dijon sur le pois, qui établissent les liens entre croissance et morphogenèse. La *Charte de l'écophysiologie végétale* (Perrier et Picard, 1989), élaborée sous l'autorité des deux chefs de département concernés au sein de l'Inra, officialise l'écophysiologie comme domaine partagé entre agronomie et bioclimatologie, et comme « motion de synthèse » entre les approches analytiques et intégratives.

Au cours des années 1990, l'écophysiologie française rencontre la modélisation, alors en plein développement dans le monde anglo-saxon, et s'attelle à l'élaboration de modèles de culture. Certains chercheurs optent pour l'adaptation de modèles importés déjà existants, d'autres se lancent dans une entreprise d'élaboration nouvelle et autonome : c'est « l'épopée » de l'élaboration du modèle Stics (Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standard) (Brisson *et al.*, 1998 ; Beaudoin *et al.*, 2019). À la fin des années 1990, le succès de l'entreprise et son caractère fédérateur sont patents. Ils se traduisent à la fois par l'extension du modèle Stics à de nombreuses cultures, et par l'adjonction de nouveaux

28. À Mons-en-Chaussée sur le maïs et à Lusignan sur les plantes fourragères, des équipes de bioclimatologistes sont créées pour développer des coopérations avec les unités d'amélioration des plantes déjà présentes.

29. Exemplairement celles de M. Robelin et G. Lemaire, rattachés à des unités pluridisciplinaires communes à plusieurs départements de recherche, ce qui jusque vers la fin des années 1990 reste exceptionnel à l'Inra.

modules qui élargissent et améliorent la prise en compte des relations plante-milieu. Le Cirad a dans ce domaine son propre « étendard », à travers la démarche de modélisation de l'architecture des plantes issue de la botanique, qui s'applique avec succès en recherche forestière (Bouchon, 1995 ; Bouchon *et al.*, 1997). Les agronomes ont plus de mal à y trouver leur compte, car les relations plante-milieu y sont appréhendées de façon moins explicative et les utilisations du modèle restent peu opérationnelles. Plusieurs d'entre eux s'associent à la dynamique Stics, rejoignant une communauté désormais identifiée de façon transversale aux institutions, et au sein de laquelle non seulement le Cirad et l'Inra, mais aussi différents instituts techniques se trouvent représentés.

La difficile prise en charge de la question environnementale

Tout en s'inscrivant de façon plus ou moins directe dans une perspective d'accroissement des rendements, les finalités des recherches en agronomie apparaissent jusqu'aux années 1970 comme assez déconnectées du contexte social et politique général. Dans le milieu des chercheurs en agronomie, on ne s'intéresse guère à la politique agricole ou aux enjeux de l'aménagement du territoire, et on fait plus confiance aux dirigeants professionnels qu'aux pouvoirs publics, et *a fortiori* aux mouvements politiques, pour identifier les finalités pertinentes. Le tournant environnemental qui s'affirme dans cette nouvelle période surgit d'un extérieur très lointain pour l'agronomie, sous la pression d'une prise de conscience internationale, à partir de la publication du rapport du Club de Rome et de la Conférence de Stockholm en 1972 principalement. Certains problèmes de pollution directement liés à l'activité agricole sont déjà identifiés, et l'écotoxicologie s'impose en tant que domaine de recherche dès les années 1980. Les impacts environnementaux des produits phytosanitaires sont désormais pris en compte dans les procédures d'homologation, mais ce n'est pas l'affaire de l'agronomie, uniquement mobilisée sur l'efficacité des matières fertilisantes. Les entomologistes sont plus avancés dans la prise de conscience des nuisances liées à l'intensification, mais les agronomes ne les fréquentent qu'épisodiquement. Cet isolement culturel et scientifique est sans doute un des freins qui vont ralentir la prise en charge de la question environnementale, qui au départ est à peine identifiée en tant que telle par les agronomes de la recherche, que ce soit en métropole ou en outre-mer. Pourtant, c'est dans cette même période qu'on les voit prendre leurs distances vis-à-vis de l'intensification, non seulement au sein du département SAD, cadre propice à l'étude des formes « marginales » d'agriculture, mais aussi au sein du département d'Agronomie où apparaissent des travaux pionniers sur les « itinéraires bas-intrants » pour le blé (Meynard, 1985).

De fait, le ver est déjà dans le fruit, c'est-à-dire en plein cœur du domaine identitaire de l'agronomie : la fertilisation. Les premières chroniques de longue durée de dosage des nitrates dans les sources situées en zone rurale montrent la croissance rapide des teneurs, et alertent sur le dépassement des normes de potabilité. Averti du problème et conscient de son lien avec la fertilisation azotée, le directeur de la station agronomique de l'Aisne, Jean Hébert, propose la « méthode du bilan » comme moyen de prévention (Hébert, 1969 ; 1974). À Quimper et Bordeaux, les agronomes Coppenet et Juste ont déjà identifié les problèmes de pollution par les métaux liés aux épandages d'effluents d'élevage ou urbains, et de produits fongicides sur la vigne. En 1974 paraît un numéro spécial « Pollution » des *Annales agronomiques*, qui est toutefois plus centré sur la pollution subie par l'agriculture du fait des épandages d'effluents et

produits résiduaires, et le « pouvoir épurateur » des sols, que sur l'impact des pratiques agricoles. Au total, ces approches restent fragmentaires et ne débouchent pas sur une réflexion globale, si ce n'est de la part de Stéphane Hénin. Lorsque ce dernier prend sa retraite de l'Inra, c'est en effet au sein du ministère de l'Environnement qu'il poursuit une activité de chargé de mission. Dès la fin des années 1970, il formule une problématisation des relations agriculture-environnement, qui offre pour la première fois un cadrage structuré et global de la question environnementale telle qu'elle se pose pour l'agronomie (Hénin, 1978).

Le jalon majeur qui marque le début de la prise en compte de l'environnement est le rapport qu'il signe en 1980 et qui établit un lien entre pollution nitrique des eaux et activités agricoles. C'est une rupture de portée considérable, à de multiples points de vue. Mais au départ, elle est circonscrite à la fertilisation azotée et les chercheurs sont loin d'en percevoir les répercussions : il s'agit tout au plus de modérer les apports d'intrants, en recyclant les connaissances acquises dans une perspective d'optimisation de la production.

D'autres sujets environnementaux ne tardent toutefois pas à se dévoiler : métaux lourds, érosion et nuisances associées, biomasse-énergie, pollution par les produits phytosanitaires, mais aussi confirmation de leur impact massif sur les espèces non-cibles. Leur écho progresse lentement parmi les agronomes de la recherche : dans les années 1980, les travaux à finalité environnementale explicite ne concernent tout au plus qu'une vingtaine de chercheurs sur un effectif total de plusieurs centaines, toutes organisations confondues. L'étude des pollutions métalliques a démarré à Bordeaux, Nancy et Quimper, où sont également établis des bilans minéraux à l'échelle de l'exploitation qui révèlent les impacts environnementaux désastreux de la concentration spatiale des élevages intensifs (Coppenet *et al.*, 1993). Des travaux sur l'érosion sont entrepris à Paris-Grignon (Boiffin *et al.*, 1988) et Laon (Auzet *et al.*, 1990), axés non plus sur les pertes en terre, mais plutôt sur les nuisances en aval des terres agricoles. Cependant, l'investissement environnemental de l'agronomie reste concentré sur la pollution nitrique des eaux et sa maîtrise par le raisonnement de la fertilisation, étudiées à Laon, Colmar, Châlons-sur-Marne, Mirecourt et Versailles. Ces deux dernières unités jouent un rôle moteur au sein du vaste chantier pluridisciplinaire lancé sur le bassin hydrologique des eaux de Vittel à l'initiative de Jean-Pierre Deffontaines en 1989. Conçu dans une perspective interdisciplinaire, ce programme mobilise essentiellement l'agronomie à travers une démarche plus descriptive que véritablement explicative. Mais pour la première fois, les agronomes se confrontent à des variables d'intérêt autres que liées à la production, les teneurs en nitrates des eaux de drainage, et au changement d'échelle qu'impliquent les finalités environnementales. Cette rupture leur donne accès, à la fin des années 1990, aux grands programmes de recherche soutenus par les agences de bassin, notamment le Piren-Seine (Meybeck *et al.*, 1998; Cornu, 2021).

Biodiversité, paysages, déforestation, usage des terres, pollution atmosphérique, contamination des sols et des eaux par les pesticides : la diversification des thèmes environnementaux se poursuit et les connexions avec l'intensification de l'agriculture sont patentes, au Nord comme au Sud. Se méfiant des modes d'origine extra-agricole, et concentrés sur le renforcement de l'écophysiologie, les agronomes restent à l'écart du débat politique et campent sur leurs états de service en matière de fertilisation raisonnée. C'est d'ailleurs à l'un de leurs meilleurs représentants dans ce domaine,

Jean-Claude Rémy, que sont confiés à l'Inra la direction du secteur Milieu physique et le lancement d'un vaste programme incitatif sur l'environnement, toutefois très prudent dans ses propositions. À cette époque, il n'est pas encore interdit de penser que l'Inra – et en son sein les départements les plus « productionnistes » comme celui d'Agronomie, mais aussi ceux dédiés à la forêt et à l'élevage – pourra honorablement assumer les finalités environnementales en les traitant comme « coproduits » de recherches tournées vers la production. Mais à l'extérieur comme au sein de l'Inra, d'autres communautés scientifiques s'en emparent de façon beaucoup plus ouverte et vigoureuse, notamment au sein des départements de Zoologie, mais aussi de Science du sol et de Bioclimatologie (Cornu et Valceschini, 2019). Au département SAD également, l'hybridation de l'agronomie et de l'écologie commence à produire une critique environnementale de plus en plus franche (Cornu, 2021).

C'est donc sous la pression d'une véritable mise en demeure, tout en s'appuyant sur une minorité active de chercheurs convertis, que l'environnement est affirmé comme finalité à part entière du département d'Agronomie de l'Inra à partir de 1993. Le pari sous-jacent est que c'est bien l'agronomie dans son ensemble, et pas seulement les spécialistes de la fertilisation azotée, qui peut et doit prendre ce virage. Ce ne sera fait que très progressivement, en raison de la désorientation qu'entraîne l'abandon du cap de la maximisation de la production, et non sans de multiples décalages, notamment entre les agronomes métropolitains et ceux désormais regroupés au sein du Cirad. Ces derniers, moins exposés à la pression sociopolitique qui résulte du constat du lien entre pollution et intensification agricole, sont logiquement plus axés sur l'impératif que constituent pour les agricultures du Sud l'augmentation de la production et le maintien de la fertilité. Cependant, les problématiques de déforestation, de désertification et d'érosion, et d'impact d'un usage massif des insecticides ne tarderont pas à s'imposer et à devenir des points de rapprochement.

Du point de vue scientifique, le virage environnemental consiste en premier lieu à appréhender le fonctionnement de l'agroécosystème avec de nouvelles variables « de sortie », ce qui entraîne la prise en compte de nouveaux processus, et donc de nouvelles variables « d'entrée ». L'agronome doit désormais s'intéresser à tout ce qui induit des impacts environnementaux (positifs comme négatifs) de l'activité agricole, à égalité d'importance avec ce qui détermine ses performances technico-économiques. L'un des apports spécifiques de l'agronomie consiste à remonter jusqu'aux déterminants techniques (y compris, en amont, les processus de décision de l'agriculteur) qui agissent sur ces processus, et à concevoir des itinéraires techniques et des systèmes de culture qui intègrent, au sens propre du terme, les différentes finalités environnementales.

À l'Inra, le premier succès illustrant de façon spectaculaire la contribution des agronomes à cette appréhension élargie de l'agroécosystème est à mettre au crédit des chercheurs de Colmar et de Laon, qui montrent que la gestion des intercultures, et en particulier l'insertion de cultures intermédiaires « pièges à nitrates », est autant sinon plus efficace que le raisonnement de la fertilisation pour contrôler la pollution nitrique (Machet *et al.*, 1997 ; Mary *et al.*, 1997)[30]. De façon concomitante, les travaux entrepris tant sur la pollution nitrique à Vittel que sur l'érosion dans le pays

30. En 1996, à l'occasion de la commémoration du cinquantenaire de l'Inra, est organisé à Reims le colloque « Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes », qui dresse un état de l'art et montre comment, en dix ans, les recherches sur ce thème se sont réorientées.

de Caux démontrent que les notions d'itinéraire technique et de système de culture fournissent les clés d'une lecture ordonnée de la répartition spatiale des impacts environnementaux de l'agriculture[31]. Cependant, au-delà de ces cas d'école ancrés dans ses domaines historiques, l'agronomie n'est guère en mesure d'apporter une valeur ajoutée à l'investissement de la science du sol sur la dynamique des pesticides ou de la bioclimatologie sur la pollution atmosphérique. Au sein du département SAD, les travaux sur les paysages initiés par Jean-Pierre Deffontaines restent orientés dans une perspective plus typologique que véritablement environnementaliste. Enfin, si ce n'est sur les adventices, l'agronomie reste encore à l'écart du courant qui prend son essor au sein de différentes communautés de recherche sur la biodiversité.

Au cours de la décennie 1990, la problématique de l'effet de serre et du changement climatique finit par atteindre l'Inra, et là encore ce sont les bioclimatologues qui sont en pointe et qui, les premiers, intègrent les exigences qu'elle induit en matière de précision quantitative des mesures, d'analyse explicative et dynamique des processus, et d'échelle d'appréhension spatio-temporelle des phénomènes (Pellerin *et al.*, 2019). Même si l'environnement est désormais reconnu et assumé comme finalité à part entière de l'agronomie, la spirale d'expansion thématique et méthodologique qu'il implique reste un défi redoutable, et un motif potentiel de scepticisme vis-à-vis de l'avenir de l'agronomie, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de la communauté des agronomes.

Entre recherche et développement, synergie ou discontinuité ?

Métropole et outre-mer : des systèmes de recherche-développement contrastés

Le système de recherche-développement métropolitain apparaît doublement segmenté dans les années 1970, du point de vue des fonctions (recherches de base, recherche appliquée, test et diffusion) et des structures (recherche publique, instituts techniques et chambres d'agriculture sous contrôle professionnel, sans oublier les firmes d'agrofourniture). La montée en puissance des instituts techniques, des chambres et bientôt des services techniques des coopératives a des répercussions à la fois importantes et ambivalentes sur la recherche en agronomie. D'une part, elle l'installe dans une version plus élaborée, mieux structurée, et au total plus performante, du modèle de transfert linéaire descendant : la diversité des acteurs institutionnels et la spécialisation des tâches, qui en est le corollaire, sont censées permettre de mieux traiter les différentes étapes du processus d'innovation. Mais d'un autre côté, elle l'expose aux multiples risques qui peuvent résulter des divergences de vue entre organismes différents, celui d'une démotivation des chercheurs par rapport à l'innovation n'étant pas le moindre.

Outre-mer, le contexte est totalement différent, puisque les instituts d'origine, distingués par filière, intègrent en leur sein l'ensemble des fonctions de la recherche-développement, et que cette situation perdure après la décolonisation du fait de la faiblesse des organismes nationaux. Cependant, au moment de la création du Gerdat en 1970, les différents instituts ont des approches contrastées vis-à-vis de leur relation avec la pratique agricole et ses acteurs. Ainsi, l'IRHO dispose en propre de plantations

31. Il est à noter que ces deux exemples correspondent à des collaborations entre chercheurs des départements d'Agronomie et du SAD.

et d'huileries, l'IRFA de structures productrices spécialisées, l'IRCT est étroitement associé à la Compagnie française pour le développement du textile et l'IRCA est très lié aux industriels du caoutchouc. Un lien direct existe entre praticiens et recherche, cette dernière s'identifiant et se définissant comme « au service de la profession », et même comme en faisant partie, puisqu'elle dispose de structures de production. Au contraire, à l'IRAT, on parle déjà de recherche-action, « qui repose sur un dialogue constant avec les paysans. Ce dialogue n'est pas accidentel, au hasard des champs, mais permanent, et accepté de part et d'autre. Cette durée implique que les chercheurs, pour poursuivre leurs actions, aient été capables de se créer un capital de confiance auprès des paysans »[32]. Le regroupement des petits paysans au sein de structures coopératives organisées par les industriels pour alimenter des usines (conserverie d'ananas, transformation d'huile de palme ou de latex) conduit cependant les instituts « filières » (IRHO, IRCA, IRFA, etc.) à s'intéresser au petit paysannat également. Mais dans ce cas, l'agronome ne s'intéresse qu'à la parcelle d'ananas, de banane ou de palmier à huile, et peu à l'exploitation agricole dans son ensemble : l'objectif est d'optimiser la production et la qualité du produit issu de la parcelle paysanne. Même à l'IRAT, l'organisation des programmes par espèce conduit les agronomes, dans leur relation avec les paysans, à privilégier leur centre d'intérêt sectoriel. Il faut attendre l'impulsion du département Systèmes agraires au milieu des années 1980 pour voir se renouveler les interactions entre recherche et développement, avec des approches qui reconnaissent enfin l'agriculteur ou les collectifs paysans comme interlocuteurs et partenaires à part entière.

La diversification des démarches

À la fin des années 1960, même si l'approche de diagnostic-conseil est identifiée, et peut déjà se prévaloir de succès exemplaires, c'est l'approche prescriptive et le modèle de transfert linéaire-descendant qui sont massivement dominants dans les systèmes de recherche-développement agronomiques tant métropolitains que tropicaux. Cependant, à partir des années 1970, en raison de la variété des contextes, des différences de maturité technologique atteinte par l'agronomie selon les thèmes, enfin et peut-être surtout du renouvellement des conceptions en matière d'innovation, les modes d'implication de la recherche en agronomie dans l'innovation agricole se diversifient considérablement, au point de devenir objets de débat et de recherche.

Un premier type de proposition nouvelle consiste à essayer de sophistiquer et moderniser l'approche prescriptive, aboutissant au paradigme de « l'agriculture raisonnée »[33] (Bonny, 1997). Sans rupture majeure avec les modalités antérieures, celui-ci s'accommode parfaitement de l'existence de différents maillons institutionnels, ce qui explique sans doute en partie que jusqu'aux années 1990, il ait fait l'objet d'un vaste consensus dans le système de recherche-développement métropolitain. Cette trajectoire prend sa source

32. Intervention de Louis Malassis en conclusion du Séminaire sur la recherche agronomique tenu en mai 1977, à Bambey, Sénégal.

33. Employé depuis la toute fin des années 1960 à propos de la fertilisation (Prats, 1970), le qualificatif « raisonné » apparaît dans une acception plus large en 1989 dans la formulation des cahiers des charges des filières céréalières, puis en 1993 lors de la création du réseau Farre (Forum pour une agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement). À l'Inra, au cours de sa présidence, G. Paillotin est un promoteur actif de cette notion, tant en interne qu'auprès des pouvoirs publics. Il est l'auteur d'un rapport (Paillotin, 2000) qui préfigure le référentiel officialisé en 2002 (chapitre 2).

sur le thème de la fertilisation. Grâce aux avancées réalisées pendant la décennie 1970, et malgré la régression des expérimentations traditionnelles dans les stations départementales, le raisonnement de la fertilisation peut s'appuyer sur une représentation explicative de la dynamique des éléments minéraux. À la fin des années 1970, la fertilisation raisonnée constitue un ensemble cohérent qui prolonge et dépasse la « doctrine des stations agronomiques »[34]. Le raisonnement s'applique à de nombreuses cultures, non seulement à l'échelle de la parcelle, mais aussi à celle de l'exploitation à travers les plans de fumure, et il devient même automatisable grâce à l'informatique qui vient s'immiscer dans la recherche agronomique (Rémy et Marin-Laflèche, 1974).

Cependant, dans un article qui rencontre à l'époque un large écho, Louis Gachon (1974a) fait le constat que la progression des achats d'engrais dans les différents départements français n'est pas conforme à ce raisonnement, avec des excès de bilan dans les régions de grande culture et d'élevage intensif, et des déficits dans celles d'élevage extensif. Or les deux chocs pétroliers de 1973 et de 1979 entraînent un net renchérissement des engrais et, sans interrompre le processus d'intensification, y introduisent une problématique de maîtrise des coûts, suscitant de la part des organismes professionnels un intérêt nouveau pour la fertilisation raisonnée. Ce n'est donc pas en s'en remettant à la répartition des tâches théorique, sur laquelle est fondé le système de recherche-développement français, que la recherche en agronomie est assurée de s'acquitter de sa mission innovatrice, même là où ses états de service technologiques sont les plus avancés. L'exception de la Station agronomique de l'Aisne (Julien, 2017) confirme la règle : c'est précisément là où s'est installé un système d'interface atypique où chercheurs, ingénieurs de recherche-développement et agents de développement se côtoient et travaillent sur des projets communs, que l'impact régional sur les pratiques de fertilisation est le plus important. Se conjuguant avec l'idée que l'Inra ne peut pas assumer à lui seul le leadership de l'innovation en matière de fertilisation, puisque d'autres thèmes y sont désormais prioritaires, ce contexte aboutit en 1980 à la création du Comité français pour le développement de la fertilisation raisonnée (Comifer), carrefour interprofessionnel qui sera par la suite le creuset des avancées de la fertilisation raisonnée, en organisant de façon concertée la mise en forme des schémas de raisonnement et des référentiels.

Un tout autre type de trajectoire s'appuie sur la démarche clinique et l'approche de diagnostic-conseil, moins verticales et plus interactives (chapitres 2 et 8). Les problèmes posés par l'intensification agricole et la transformation des systèmes de culture[35] se révèlent inédits et complexes, et ce nouveau mode de partenariat avec la recherche est conforme aux attentes et besoins d'une grande partie des agents du système de recherche-développement professionnel. Le concept de profil cultural et son évolution sous l'effet des itinéraires techniques, en particulier des opérations de travail du sol, constituent au départ le domaine d'élection de ce type de lien recherche-développement. S'appuyant sur l'enquête plutôt que sur l'expérimentation, il se déploie ensuite sur une large gamme de sujets allant des accidents culturaux ponctuels

34. Plusieurs cycles de formation permanente sont organisés, auxquels participent un grand nombre de chercheurs de l'Inra (Marchon, 1971 ; Capillon et Sebillotte, 1977 ; Boiffin et Sebillotte, 1977), et des numéros spéciaux de plusieurs revues techniques majeures lui sont consacrés (par exemple Gachon, 1974a) et présentent des systèmes de prescription formalisés et quantifiés.

35. Le cycle supérieur d'agronomie organisé en 1978, qui rencontre un large écho auprès des agents du développement, et auquel interviennent S. Hénin et J. Poly, s'en fait l'écho (Boiffin *et al.*, 1978).

jusqu'aux potentialités agricoles régionales, et dans des contextes agraires eux aussi très divers, depuis la grande culture jusqu'au pastoralisme en passant par l'arboriculture et les systèmes de polyculture. Perçue comme aventureuse par beaucoup de chercheurs, cette démarche ouverte et interactive est d'abord mise en œuvre « aux marges » du département d'Agronomie de l'Inra, par la chaire d'agronomie de l'INA P-G, dans le groupe non sectoriel autour de Raymond Gras, et au SEI (Service d'exploitation et d'innovation), puis au département SAD. Encouragé par les États généraux du développement agricole de 1982-1983, le modèle de la recherche-action se dote peu à peu d'une doctrine, mobilisée à la fois au SAD et dans le département d'Agronomie de l'Inra[36], alors qu'elle l'était depuis déjà près de dix ans au Gerdat. Bénéficiant de cette antériorité, et stimulée par le défi que représente la confrontation sans filtre aux paysannats des agricultures du Sud, la recherche-action est activement mise en œuvre au Cirad et y débouche, plus tôt qu'à l'Inra, sur l'approche d'accompagnement. À la fin des années 1990, cette dernière fait l'objet de travaux dûment référencés (Malézieux et Trébuil, 2000) et d'une véritable formalisation.

La montée des forces centrifuges

Au tournant des années 1980, la diversité et la richesse des formes de relation entre recherche et développement, et les résultats prometteurs obtenus sur certains thèmes, permettent d'espérer que, malgré le découpage institutionnel et les discontinuités qu'il instaure, le dispositif national de recherche-développement va « faire système » et être en mesure de guider l'innovation technique, presque aussi efficacement en agronomie qu'en zootechnie (Landais et Deffontaines, 1988). Mais il y a aussi des forces contraires, qui tendent à écarter la recherche du développement, en métropole comme en outre-mer.

L'agronomie de l'« école de pensée Hénin » est loin d'avoir conquis toutes les sphères de la recherche-développement professionnelle. Au sein des organismes dédiés aux filières, tant métropolitains que tropicaux, l'approche phytotechnique apparaît encore bien souvent comme plus opérationnelle et plus directement compatible avec l'évaluation et la prescription variétale. En métropole, de fait, même les instituts techniques les plus proches de l'Inra (Cetiom, ITCF) sont en fait partagés entre une composante nationale dont les agents ont la même formation et la même culture scientifique que ceux de la recherche publique, et des structures régionales dont les agents sont avant tout des prescripteurs de messages normatifs[37]. S'exerçant sur un milieu professionnel aussi hétérogène, le tournant que prend l'intensification technique en métropole à la fin des années 1970 est un puissant facteur de distension et de fragmentation du système de recherche-développement en agronomie. Le courant phytotechnique est conforté par l'apparition d'une nouvelle génération de produits phytosanitaires – fongicides, régulateurs de croissance, insecticides –, dont la combinaison avec le « progrès » génétique fait reculer sans cesse la limite des accroissements de rendements. Au début des années 1980, l'opération « Blé-conseil », coorganisée

36. L'enrichissement de la réflexion sur l'action des agronomes passe notamment par des échanges au long cours avec le Groupe d'expérimentation et de recherche : développement et actions localisées (Gerdal).
37. À cette époque, de l'ordre de la moitié des budgets annuels de l'ITCF et du Cetiom est consacrée à l'évaluation variétale post-inscription, et les comptes-rendus annuels des expérimentations correspondantes sont les temps forts de communication des agents régionaux auprès des agriculteurs.

dans toute la France par l'ITCF, les coopératives et les firmes phytosanitaires, diffuse à des dizaines de milliers d'agriculteurs les « paquets techniques » qui vont permettre d'atteindre les 100 quintaux par hectare. Les chercheurs ne sont pas conviés, et sont occupés à bien autre chose : exactement à la même époque, tout le département d'Agronomie de l'Inra est réquisitionné pour rédiger le deuxième tome du rapport Hénin sur la pollution des eaux, où sont détaillés les principes de raisonnement qui permettront de modérer les apports d'azote.

Au cours de la décennie 1980, les dynamiques contradictoires de rapprochement et d'éloignement entre recherche et développement poursuivent leur cours, et le contraste s'accroît entre des cas exemplaires de coopération et de vastes zones d'ignorance mutuelle. Comme exemple des premiers, on mentionnera les programmes de typologie des exploitations agricoles de la chaire d'agronomie de l'INA P-G, qui étendent l'agronomie clinique à l'échelle du système de production et sont menés en partenariat avec les chambres d'agriculture. À la fin des années 1990, le département SAD, plus largement, fait du dispositif de développement agricole, au sens institutionnel du terme, un objet de recherche à part entière, avec les agronomes en pointe sur ce sujet[38]. À l'opposé, l'écophysiologie apparaît alors comme un espace réservé aux chercheurs du département d'Agronomie. Au premier congrès de la Société européenne d'agronomie (en anglais, European Society of Agronomy, ESA), qui pourtant se tient à Paris, la participation des organismes de recherche-développement professionnels est quasi nulle. Les chercheurs (et même les agronomes) se mettent à publier de plus en plus dans des revues anglophones et, au regard des systèmes d'évaluation qui leur sont désormais appliqués, les articles techniques n'ont plus aucune valeur. D'ailleurs, la répartition des tâches au sein du dispositif de recherche-développement agronomique se propage à la presse technique : le *Bulletin technique d'information* du ministère de l'Agriculture et l'*Encyclopédie des techniques agricoles*, derniers supports où il était honorable pour un agronome-chercheur de publier des articles de synthèse technique, cessent ou réduisent leur activité. À la fin des années 1980, ce sont désormais des revues professionnelles de filière telles que *Perspectives agricoles* qui tiennent le haut du pavé, et les chercheurs n'y publient qu'en se faisant prier. Au Cirad en revanche, les revues propres à chaque département (*Oléagineux*, *Fruits*, *Cahiers Agriculture*, etc.) continuent d'exister. Elles tentent de se « scientifiser », recherchant la reconnaissance académique et les facteurs d'impact.

Au début des années 1990, le tournant environnemental porte à leur paroxysme les forces de distanciation, en raison à la fois des divergences de finalité qu'il instaure, et de l'investissement qu'il demande aux chercheurs dans des thématiques et démarches nouvelles. Le sentiment prévaut chez les dirigeants professionnels que l'Inra s'éloigne de l'agriculture, et qu'au sein de la recherche même les agronomes se désintéressent de la production. Ce sentiment se développe aussi parmi les agents des organismes de recherche-développement, qui comprennent de moins en moins ce que publient et à quoi s'intéressent les chercheurs. Ainsi, l'essor de la modélisation dans les différents secteurs thématiques de l'agronomie sera d'abord un facteur de divergence, avant d'apparaître, nettement plus tard, comme un puissant vecteur de développement d'applications.

38. Voir les contributions de Marianne Cerf *et al.* dans *Conseiller en agriculture* (Rémy *et al.*, 2006).

La recherche outre-mer connaît les mêmes tensions : alors que les forces « traditionalistes » des anciens instituts privilégient l'appui direct aux filières, et justifient l'existence de la recherche par l'applicabilité de ses produits, deux forces complémentaires éloignent le chercheur agronome de la dimension applicative. C'est en premier lieu la nécessité d'une reconnaissance académique par les pairs qui s'impose de plus en plus, et en second lieu la transformation même des objectifs du Cirad, qui s'affirme de plus en plus comme organisme de recherche international (vis-à-vis du CGIAR) et en tant que tel producteur de biens publics (dont les publications scientifiques). Le débat est vif en interne et se traduit par l'avènement de la reconnaissance scientifique dans le pilotage stratégique. Il faudra attendre une décennie pour que l'exigence de l'excellence scientifique s'harmonise avec l'exigence d'impact, au prix d'efforts constants pour résoudre cette dialectique.

En métropole, le caractère critique de cette situation commence à être perçu de part et d'autre du dispositif. À l'Inra, un courant nouveau d'intérêt pour les processus d'innovation est apparu, non sans rapport avec la perception d'un risque de perte d'impact qui peut mettre en cause la raison d'être de l'organisme (Inra et École des Mines de Paris, 1998[39]). Plusieurs responsables, aussi bien scientifiques que professionnels ou dans les ministères, prennent conscience que les questions environnementales doivent devenir un enjeu de travail en commun et non de confrontation, d'où l'opération Ferti-Mieux (chapitres 8 et 9), où les chambres d'agriculture voient une opportunité de reprendre une part de leadership face aux instituts techniques et aux coopératives, et dont la direction scientifique est confiée à Michel Sebillotte. Ferti-Mieux n'enraye guère la pollution, et s'étiole faute de persistance dans l'engagement professionnel. Au-delà du succès d'estime qu'a suscité ce dispositif, les partenariats d'accompagnement semblent réservés à des expériences enrichissantes, mais marginales, menées de concert avec des groupes d'agriculteurs plus ou moins contestataires. Au reste, les chercheurs de l'Inra ne s'y engagent pas massivement. Malgré leur caractère démonstratif et leur consistance méthodologique, les réussites obtenues au Cirad restent, elles aussi, des expériences-pilotes de portée limitée, en raison de la faiblesse, pour ne pas dire l'absence des organismes de développement pour relayer et démultiplier les chantiers où sont physiquement présents les agronomes de la recherche.

Initiée à la fin des années 1980, l'expérience des Agrotransferts (Boiffin et Chopplet, 2015) traduit la prise de conscience que, pour l'agronomie, le danger qui résulte d'un éloignement entre recherche et développement est mortel en ce qu'il risque à terme de dissocier les dynamiques cognitive et technologique. Pour parer à ce danger, il faut créer des interfaces au sein desquelles le travail en commun va permettre de mieux traiter certaines étapes de synthèse et de mise en forme des connaissances à mobiliser, mal identifiées et orphelines, et ainsi de redonner une continuité à la chaîne qui va des acquis de la recherche à une innovation adoptée. Paradoxalement, c'est par un effort supplémentaire de scientifisation, et de prise en compte de la complexité, que la recherche en agronomie essaie de dépasser le déphasage entre recherche et développement. Tout en demeurant dans le cadre de pensée du schéma de transfert linéaire, et

39. Cet ouvrage est issu des travaux menés par deux équipes de l'École des Mines, à la demande du « groupe Impact », missionné par G. Paillotin en 1995 et animé par J.-M. Attonaty. Sur les 12 études de cas, l'une est issue du département d'Agronomie et concerne le raisonnement de la fertilisation azotée.

bien qu'ayant comme Ferti-Mieux subi la défection des acteurs professionnels[40], cette expérience doit, elle aussi, être considérée comme un germe de la revitalisation des partenariats qui surviendra dans la période suivante.

⏩ Depuis le tournant des années 2000 : l'agronomie à l'épreuve de l'intégration et de la transdisciplinarité

À la charnière entre les XX[e] et XXI[e] siècles, la dimension planétaire de l'enjeu environnemental s'affirme, et il devient intenable de continuer à traiter les effets négatifs des pratiques agricoles comme de pures externalités. L'agriculture ne peut plus être pensée de manière sectorielle, elle doit s'inscrire dans un projet de développement global conçu en matière de durabilité. Au Sud, la sécurité alimentaire reste un enjeu de premier ordre dans nombre de régions tropicales, mais les menaces qui pèsent sur l'environnement imposent de passer d'une exploitation souvent minière et dégradante des écosystèmes à une gestion beaucoup plus ménagère des ressources naturelles. Par-delà les solutions techniques, la recherche en agronomie doit dorénavant proposer des modèles de développement alternatifs. Cette exigence rend plus que jamais nécessaire une meilleure intégration des connaissances entre disciplines et des échelles d'approche des phénomènes.

Une agronomie « désinstitutionnalisée » et pourtant mieux reconnue

Un contexte de réforme des organismes qui décloisonne la recherche en agronomie

À la fin des années 1990, les organismes de recherche agronomique sont placés devant des choix en apparence cornéliens : intérêt général et protection de l'environnement ou intérêts économiques du monde agricole et des filières agroalimentaires ? Faut-il s'éloigner de l'agriculture, voire la concéder totalement à des organismes spécialisés[41] – en France, les instituts techniques, et au Sud, les organismes agronomiques nationaux ? Dans le même temps, comment s'inscrire dans la dynamique qui révolutionne la biologie, et où seule une minorité d'équipes de recherche agronomique ont pignon sur rue ? Faut-il résolument opter pour l'excellence académique et remonter vers l'amont, au risque de perdre toute spécificité par rapport au CNRS et à la recherche universitaire ?

Les crises sanitaires du milieu des années 1990, auxquelles s'ajoutent les controverses bien mal anticipées sur les OGM, créent une situation d'urgence[42] et induisent une forte réaction de la part des directions générales du Cirad et de l'Inra[43], qui comprennent

40. Sauf en Picardie, où au contraire elle a connu un important développement jusqu'à aujourd'hui.
41. Le Cemagref, qui en 2012 se rebaptise Irstea (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture), affiche résolument sa « désagricolisation » au profit de l'environnement, du génie agroalimentaire et de l'évaluation du risque.
42. En juin 1999, des plants de riz transgéniques sont détruits par des militants de la Confédération paysanne menés par José Bové, entrés par effraction dans une serre du Cirad à Montpellier. Il s'ensuit un procès retentissant, qui a des répercussions fortes sur la manière dont les OGM sont appréhendés par le Cirad.
43. Voir le dossier récapitulant les textes d'orientation de la réorganisation de l'Inra (Collectif, 1998a). Pour une analyse plus circonstanciée du contexte et des motivations de la réforme de l'Inra et de ses suites, voir Cornu *et al.* (2018) ; Cornu et Valceschini (2019).

que des champs scientifiques organisés en baronnies académiques ne permettent plus de répondre aux impératifs de l'heure. Pire, elles vont de pair avec une certaine myopie d'une partie des cadres scientifiques, et risquent d'asservir les organismes aux logiques de verrouillage qui menacent l'innovation agricole.

Les disciplines à dimension technologique comme l'agronomie sont dans l'œil du cyclone. Il n'est déjà plus question d'afficher zootechnie, aquaculture, sylviculture, voire même amélioration des plantes, comme mots-clés identificateurs des organismes. La réforme de l'Inra engagée en 1997, épreuve de vérité et tremplin pour la recherche en agronomie, est pensée en termes non plus de disciplines, mais de « questions ». Les disciplines ne sont pas niées, mais il leur revient de légitimer leur contribution singulière à l'effort collectif, pour produire une recherche non pas seulement « applicable » en théorie, mais véritablement « finalisée », c'est-à-dire gouvernée par une double dynamique d'accroissement des connaissances et de résolution des problèmes d'intérêt général. Au tout début de la réforme, on peut toutefois se demander si la biologie moléculaire et ses normes d'évaluation n'emporteront pas tout sur leur passage. La place de l'agronomie sera finalement reconnue, moins en raison de ses mérites et performances en tant que communauté de recherche, que par sa pertinence vis-à-vis des enjeux sociétaux : les dirigeants de l'Inra, ainsi que certains de ses partenaires et leaders scientifiques des sciences de l'environnement, au CNRS, au MNHN, au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) ou dans les universités, perçoivent qu'on ne peut rien comprendre à l'environnement, et encore moins le gérer, si on ne met pas les systèmes de culture et leurs déterminants dans le périmètre d'étude. Cette reconnaissance n'entraîne toutefois pas d'afflux de moyens, la priorité de la période allant à la constitution du pôle « alimentation » de l'Inra, alors même que la finalité environnementale implique un considérable effort d'élargissement thématique et de décloisonnement interdisciplinaire[44].

C'est dans ce contexte qu'est créé en 1998 un nouveau département de recherche dénommé Environnement et Agronomie (EA), regroupant l'agronomie avec la bioclimatologie et la science du sol. Dans la suite de cette réforme, le département SAD devient en 2003 « Science pour l'action et le développement », sous la direction d'un agronome, Jean-Marc Meynard. L'agronomie n'est pas réunifiée en termes institutionnels, mais elle l'est largement en termes de méthodologie et d'engagement collectif des chercheurs. Les agronomes du département SAD continuent à émarger à des programmes plus délibérément interdisciplinaires que ceux d'EA, ou du moins plus ouverts vers les sciences sociales et les questions sociétales, mais avec le souci de partager leurs acquisitions dans les nouvelles revues agronomiques.

Cette approche finalisée va progressivement inspirer l'évolution de toute la recherche agronomique française, aussi bien au Cirad et au Cemagref qu'à l'Inra. Les dispositifs

44. La fluctuation des structures administratives et la difficulté d'identifier précisément la discipline agronomie dans les documents institutionnels rendent délicat un suivi précis des évolutions d'effectifs. À la fin des années 1990, les effectifs de chercheurs et ingénieurs de l'Inra se rattachant à l'agronomie se situent à environ 160, auxquels se rajoutent environ 25 enseignants-chercheurs. Ces effectifs sont répartis entre les départements Agronomie et SAD, pour respectivement 85 et 15 % environ. Quelques agronomes sont également présents au Cemagref. Au Cirad, au tout début des années 2000, l'estimation correspondante est d'environ 170. Si on tient compte des ingénieurs relevant des instituts techniques métropolitains et ayant une activité proche de la recherche (entre 50 et 100), on arrive pour la France à un ordre de grandeur de 400 à 500 chercheurs au sens large, œuvrant dans le domaine de l'agronomie *stricto sensu*, au tournant des années 2000.

de recherche ne sont plus structurés selon les disciplines, ou selon les filières et systèmes de production, mais par grandes catégories d'objets ou de finalités. Désormais, dans tous les organismes de recherche ou de recherche-développement où elle a droit de cité, l'agronomie (comme d'ailleurs beaucoup d'autres disciplines technologiques, à l'exemple de la zootechnie) n'est plus identifiée à un dispositif de gestion de la recherche, mais incluse dans des structures plus vastes et des programmes où les agronomes travaillent de plus en plus souvent avec les chercheurs d'autres disciplines dès la phase de questionnement sur des dispositifs communs. Ils en viennent à partager des concepts et cadres d'analyse qui échappent à la catégorisation disciplinaire. Ce mouvement de « transdisciplinarisation » ne se limite pas aux superstructures ou projets : plus en profondeur, il concerne aussi le niveau des unités de recherche[45].

Au sein de l'Inra et de son département EA, le découplage entre disciplines et structures administratives vaut aussi pour la bioclimatologie et la science du sol, et, pour l'agronomie comme pour ses disciplines compagnes, on peut redouter un risque de dissolution qu'exacerbe l'émergence du vocable « agroécologie ». Bien identifié par les responsables qui se succèdent à la tête du département, ce danger sera écarté, au moins en ce qui concerne l'agronomie, grâce au maintien, à quelques reformulations près, des champs thématiques qui en constituent la trame (Bruckler *et al.*, 2019). La composante proprement technologique de l'agronomie, celle qui revendique explicitement les systèmes de culture comme objet d'étude, peine toutefois à s'adapter au nouveau contexte, ses états de service en matière de publications académiques étant jusqu'alors moins fournis que ceux des autres courants. En outre, sa division entre les départements EA et SAD ne contribue pas à sa lisibilité extérieure, alors même que, dans la pratique, cette période de l'histoire de la discipline est caractérisée par une intense réflexion méthodologique transversale aux départements de recherche.

Longtemps considérée comme associée aux enjeux agricoles, l'agronomie à l'Inra s'insère désormais dans le « tripode agriculture-alimentation-environnement », qui définit le champ d'action de l'institut sous la direction de Marion Guillou à partir de 2000 (Collectif, 2001). Mais elle s'inscrit aussi dans la réévaluation de la dimension ingénieriale de la recherche qui caractérise cette gouvernance, avec l'essor du modèle de l'« expertise collective » et la prise en compte du développement territorial comme objet et débouché revendiqué par la recherche agronomique. La conception et le développement des programmes « Pour et sur le développement régional » (PSDR) à la fin des années 1990, sous l'impulsion de Michel Sebillotte, font ainsi la part belle à une ingénierie réflexive et collaborative du développement (Sebillotte, 2001). Les agronomes sont bien représentés dans ces programmes, notamment dans la vague du début des années 2000 (Mollard *et al.*, 2007), sur le thème de la multifonctionnalité agricole. Plus globalement, l'agronomie est fortement sollicitée dans les programmes pluridisciplinaires qui naissent à l'Inra (« Agriculture et Développement durable », « Porcherie verte », « Production fruitière intégrée »), portés à partir de 2005 par des financements importants de la toute nouvelle Agence nationale de la recherche (ANR). Dans ce cadre, les projets communs aux agronomes du département SAD et de l'ex-département d'Agronomie sont nombreux, et les distinctions antérieures ont plutôt tendance à s'effacer.

45. Voir chapitre 4 : la transdisciplinarisation s'exprime dans plusieurs *position papers* et ouvrages publiés, à partir des années 2000, par les agronomes de la recherche.

Une autre conséquence du développement des approches intégrées au sein de la recherche agronomique est de confronter la recherche en agronomie à des partenaires extérieurs à son monde relationnel hérité des décennies modernisatrices, que ce soit les acteurs de la cogestion agricole en France ou les partenariats noués dans la Révolution verte sous les tropiques. Cette dynamique s'inscrit par exemple dans une nouvelle appréhension de l'agriculture biologique au sein de l'Inra (encadré 6.2, voir en fin de chapitre), qui rompt avec celles qui ont prévalu jusqu'alors : vue comme doctrine à réfuter, puis pratique à observer sans lui accorder d'intérêt particulier, l'agriculture biologique est enfin considérée comme un champ d'innovation riche d'enseignements pour la recherche.

Des évolutions parallèles sont conduites au Cirad. Acteur de recherche scientifique et de coopération internationale, ce dernier a toujours cherché l'équilibre entre ses deux mandats d'origine, avec la volonté de s'affirmer tant dans le domaine scientifique que dans celui de l'appui au développement de ses partenaires. Dans les années 2000, le Cirad choisit cependant explicitement le camp de la recherche, et place l'excellence scientifique au cœur de son organisation. « La science au centre » constitue le *motto* de la réforme de 2006. Celle-ci est efficace : le nombre de publications des chercheurs du Cirad et des doctorants accueillis augmente fortement. En matière d'organisation de la recherche, les anciens départements organisés en filières et les programmes d'assistance technique cèdent le pas aux départements scientifiques et aux unités de recherche. L'agronomie s'inscrit de façon volontariste dans ce nouveau cadre, et en profite pour affirmer sa légitimité scientifique. Au sein de la direction scientifique, la délégation AGER (Agronomie, gestion de l'environnement et des ressources naturelles) appuie cette orientation, soutient les implications dans des initiatives de recherche ambitieuses et des recrutements de chercheurs de haut niveau dans les disciplines de l'agronomie et de l'environnement. La réforme de 2006 incarne alors l'aboutissement du nouveau projet ciradien. L'établissement s'affiche officiellement comme un organisme de recherche en partenariat sur les « biens publics mondiaux ». Le constat sous-jacent est que l'organisation en filières, jusqu'alors épine dorsale de l'institution, ne permet pas de comprendre et d'accompagner la production de ces biens et de répondre aux nouveaux défis qui se posent pour les pays du Sud : développement social, bien-être, problématiques environnementales et sanitaires.

Cette rupture majeure se traduit par une nouvelle organisation interne du Cirad et la création des trois départements scientifiques actuels : « Bios » pour les systèmes biologiques, « ES » pour les systèmes sociaux et institutionnels, « Persyst » (Performances des systèmes de production). Ce dernier rassemble la majorité des agronomes et accueille également les disciplines technologiques de la transformation des produits. Dédié aux systèmes de culture et de production, il prend en compte les problématiques environnementales et territoriales. L'interdisciplinarité est de règle au niveau de chaque unité de recherche et l'agronomie y occupe une place majeure, mais jamais exclusive. Certains agronomes trouvent également leur place dans le département ES, au sein d'unités travaillant sur l'innovation, la gestion de l'eau ou encore les territoires.

Du point de vue de l'activité scientifique, aussi bien au Cirad qu'à l'Inra les changements d'organisation qui affectent la recherche en agronomie s'avèrent parfois perturbateurs, certaines équipes étant réorganisées et réorientées. À l'Inra, suite à la constitution du nouveau département EA, les unités de recherche de l'ancien département

d'Agronomie entrent dans un cycle de fusions, recompositions et parfois disparitions, dans le cadre d'une tendance générale à la constitution d'unités de plus en plus importantes, concentrées sur les sites universitaires. Toutefois, dans les deux décennies qui suivent, l'implication forte des agronomes dans les programmes et projets pluridisciplinaires, ainsi que dans les expertises collectives, témoigne globalement d'un regain de dynamisme, et montre que la recherche en agronomie est en route pour relever le défi de la transdisciplinarité.

La dynamique des unités mixtes de recherche, d'abord menaçante, finalement bénéfique

Le grand mouvement des unités mixtes de recherche (UMR), promu initialement par Claude Allègre, ministre de la Recherche en 1997-1998, en vue de soutenir la recherche universitaire, aurait pu marginaliser une partie de la recherche agronomique, et tout particulièrement les disciplines à caractère spécifiquement agricole, qui n'ont pas de répondant universitaire. Il sera habilement négocié par les organismes de recherche et d'enseignement supérieur agronomiques, qui proposent et obtiennent sa transposition aux écoles d'ingénieurs. Grâce à cet élargissement, l'instauration des UMR s'avère en définitive très bénéfique à l'agronomie. Elle conforte et élargit l'intégration des équipes d'enseignants-chercheurs, ce qui a pour effet de renforcer sa composante d'ingénierie et d'apporter une vision plus intégrée, plus ouverte sur les enjeux de l'époque : ainsi, la dichotomie des approches entre agronomes des départements SAD et d'Agronomie de l'Inra est-elle beaucoup moins marquée parmi les enseignants-chercheurs.

Au Cirad, la création des UMR est concomitante de l'avènement des unités de recherche, qui fait suite à l'instauration des trois départements. Profondément remaniée, la structuration scientifique du Cirad est désormais proche de celle de la plupart des organismes de recherche publique, avec ses trois niveaux d'organisation vitaux : équipe, unité, département. Comme à l'Inra, des dispositifs de gestion spécifiques se mettent en place pour les UMR. L'agronomie en tire parti, car l'homogénéité thématique qu'apporte la notion d'unité lui permet de mieux organiser tant sa programmation scientifique que ses politiques de recrutement. La dimension « espèces-filières » n'est pas pour autant abandonnée, mais elle est transposée et réintégrée dans une vision plus systémique : des unités pluridisciplinaires sont créées autour de grands types de systèmes de production[46].

La création des UMR, qui permettent de combiner les tutelles, est également l'occasion de renforcer la collaboration entre l'Inra et le Cirad. Montpellier notamment devient un haut lieu du dialogue retrouvé entre agronomies métropolitaine et tropicale. Une nouvelle UMR est créée pour les systèmes agroforestiers (System), et des unités thématiques sont créées sur les sols (Eco&Sols, Écologie fonctionnelle et biogéochimie des sols et des agro-écosystèmes, avec l'IRD) et le recyclage des éléments (UR Recyclage et Risques). La création des UMR System et Eco&Sols montre la capacité des organismes à créer de nouvelles structures pour répondre à de nouvelles problématiques. Au Cirad, ces unités sont accueillies au sein du département Persyst, qui assure la programmation, la gestion et l'animation scientifique transversale entre unités.

46. On identifie ainsi les unités SCA (systèmes de culture annuels), CP (systèmes de culture pérennes, qui rassemblent palmier à huile et cocotier), HortSys (systèmes horticoles) et GECO (bananiers et plantains).

Toutes ne sont pas des UMR, mais les conditions sont les mêmes pour toutes; le système d'évaluation national est en place et toutes doivent s'y conformer, en adoptant en particulier une politique de publication dynamique.

Au sein de la recherche publique et tout particulièrement de sa composante « finalisée », pour laquelle Inra et Cirad jouent de concert un rôle moteur, la prise de conscience des dérives que peut engendrer l'académisme amène à remettre en valeur la spécificité du statut et des missions des corps d'ingénieurs (Chemineau *et al.*, 2012). De surcroît, l'application de la grille de critères issue du groupe de travail interorganismes sur l'évaluation de la recherche finalisée (Erefin, 2010) tempère l'orientation académique des établissements. L'agronomie bénéficie indirectement, mais très significativement, de ce rééquilibrage. Au Cirad, la réflexion générale du tournant des années 2000 sur la science finalisée permet à l'organisme, et en son sein aux disciplines et communautés à dimension technologique, d'entrer dans les systèmes d'évaluation nationale, non sans débats internes, mais finalement sans traumatisme.

À partir du milieu des années 2000, le dispositif combinant « UMRisation » et évaluation nationale, dans le cadre d'une recherche finalisée dont la légitimité n'est plus mise en cause et où l'interdisciplinarité est en forte progression, apparaît désormais comme un contexte plutôt favorable pour l'agronomie. Il lui permet de continuer sa structuration, tout en développant ses interactions avec d'autres disciplines.

Une légitimité toujours à prouver, malgré la normalisation en cours

Au tournant des années 2000, la recherche en agronomie ne ressemble plus à celle des années 1970. Elle a désormais étendu, mais aussi délimité et stabilisé les trois grands champs thématiques qui composent son domaine : le fonctionnement du peuplement végétal, l'influence des systèmes de culture sur le fonctionnement des agroécosystèmes, l'évaluation et la conception des systèmes techniques. En assimilant la notion de multifonctionnalité, elle s'est émancipée par rapport aux finalités strictement agricoles. Elle s'est constituée un vaste éventail de méthodes et d'outils très avancés, et a considérablement progressé dans l'appréhension de différentes échelles et de différents niveaux d'organisation. Elle se conforme désormais honorablement aux standards académiques qui attestent le statut scientifique d'une discipline. En particulier, elle a réussi à s'insérer dans un panel de revues internationales à la fois très diversifié et à impact respectable, car s'adressant à des communautés scientifiques plus larges. Elle réussira même à créer ou à soutenir la création de certaines de ces revues, comme *Agronomy for Sustainable Development* (ASD) en 2003, héritière des *Annales agronomiques* et d'*Agronomie*, qui en moins de dix ans acquiert une forte notoriété grâce à une stratégie éditoriale qui privilégie les numéros thématiques. Dans les années 2010, la diversification des supports de publication, dans des revues de moins en moins sectorielles et avec des facteurs d'impact bien plus élevés qu'auparavant (Bruckler *et al.*, 2019), montre que la recherche en agronomie s'adresse à un très large éventail de communautés scientifiques, et a franchi un nouveau palier dans la montée en généralité.

Pour autant, des points de vigilance demeurent. Si on regarde « la bouteille à moitié vide », on voit bien que la recherche en agronomie n'est pas à l'avant-garde de la recherche en environnement. Ce sont les géosciences, et en particulier les sciences du climat, mais aussi la biogéochimie et l'écologie évolutive, qui dévoilent de nouveaux enjeux – tout

particulièrement ceux du changement climatique et de la biodiversité –, avec leur cortège de nouveaux thèmes à étudier et compétences à acquérir par l'agronomie[47]. L'irruption du vocable « agroécologie » dans les années 2000 et le succès certes tardif[48], mais important, qu'il rencontre, y compris dans les sphères scientifiques, suggèrent que le débat sur le statut scientifique et technologique de l'agronomie peut encore resurgir.

Thèmes, démarches et production scientifique : nouvelles avancées, nouveaux défis

Intégration et spatialisation : la montée en complexité de l'agronomie

Si la recherche en agronomie a bien pour objectif spécifique de comprendre et prévoir le fonctionnement de l'agroécosystème, piloté par des acteurs, elle se doit d'établir une connexion entre les champs thématiques susmentionnés qui, s'ils restent séparés, peuvent aussi bien être annexés, chacun de leur côté, par d'autres disciplines. Or les interfaces sont difficiles à établir, car les « sous-systèmes » – climat, sol, plante, techniques – sont redevables de concepts et méthodes de caractérisation plus ou moins compatibles, et les modèles de fonctionnement disponibles pour chacun d'entre eux ne sont pas d'emblée faciles à connecter. C'est dans les domaines de la fertilisation et de la gestion de l'eau que l'agronomie s'est jusqu'alors le plus rapproché du but, c'est-à-dire d'une continuité explicative et prédictive entre décision de l'agriculteur et variables d'intérêt agro-environnementales. Cependant, des déséquilibres subsistent dans la qualité de description des différentes composantes, le système racinaire et son fonctionnement demeurant une « boîte noire ». Et sur les autres thèmes, les progrès accomplis pendant la période précédente, en s'appuyant notamment sur la modélisation, ne concernent le plus souvent qu'un seul type d'interface : climat-plante comme dans le cas des modèles de captation-conversion, sol-plante pour l'imbibition des graines, technique-sol pour l'étude du travail du sol, etc. À partir du milieu des années 1990, l'élaboration de modèles plus complets et plus homogènes, intégrant les effets des interventions techniques, devient un objectif stratégique explicite. Les travaux mis en chantier à cette époque commencent à porter leurs fruits dès le début des années 2000 et se traduisent par l'éclosion d'une série de « grands modèles » (chapitre 2, encadré 2.3), qui à l'image du modèle Stics couvrent un éventail de plus en plus large de thèmes et de processus. Dans les années 2010, cette dynamique s'amplifie dans plusieurs directions.

Une première tendance est l'agrandissement et l'élargissement des modèles de fonctionnement des agroécosystèmes, que ce soit par adjonction de modules décrivant de nouveaux processus[49] ou par extension du paramétrage à une gamme de situations

47. Le décalage de l'agronomie vis-à-vis des sciences de l'environnement est toutefois beaucoup moins accentué en France que dans d'autres pays (États-Unis, Canada, Royaume-Uni), où la recherche en environnement est très avancée, mais menée dans des institutions distinctes de la recherche agronomique, qui reste étroitement agricole dans ses finalités. Ce contraste est particulièrement perceptible lors des « conférences tétrapartites », lieux d'échanges sur les stratégies des organismes de recherche agronomique du Canada, de la France, du Royaume-Uni et des États-Unis, ou lors des congrès internationaux, dont ceux de l'ESA.
48. Si on le rapporte à 1983, date de publication aux États-Unis du premier ouvrage scientifique éponyme (Altieri, 1985, pour la traduction française).
49. Cas exemplaire de l'adjonction d'un module de dynamique de l'azote au modèle Stics, qui ouvre d'importantes perspectives d'application.

plus large qui permet une montée en généralité[50]. Les avancées de la modélisation elle-même entrent en synergie avec les progrès en matière de recueil et de gestion des données (chapitre 2), accroissant de plusieurs ordres de grandeur l'étendue d'application des modèles. Dans ce cadre, un aspect plus spécifique de l'agronomie est l'intégration effective des interventions techniques dans l'analyse et la modélisation du fonctionnement de l'agroécosystème[51]. Leurs impacts sur les processus étant explicités, ces interventions, considérées comme perturbations écologiques complexes, peuvent désormais se connecter aux modèles de culture, ce qui ouvre d'immenses perspectives d'expérimentation virtuelle, et plus globalement peut révolutionner le travail d'acquisition des références en agronomie (Angevin *et al.*, 2020).

Un deuxième type d'avancée a pour origine les coopérations initiées lors de la période précédente entre agronomes (principalement du département SAD), informaticiens et chercheurs des sciences de gestion, sur la formalisation des règles et processus de décision, et leur traduction sous forme de modèles décisionnels et organisationnels informatisés[52]. Les travaux pionniers en la matière avaient été menés, au cours de la période précédente, à Grignon sur l'organisation des chantiers et le dimensionnement des ressources en main-d'œuvre et équipement, débouchant sur le logiciel Otelo (Papy *et al.*, 1988), et à Toulouse sur la conduite des systèmes fourragers à base de prairies (Duru *et al.*, 1988; 1999). Ils s'y poursuivent activement et sont bientôt renforcés, à Toulouse encore, par des travaux sur la gestion des ressources en eau. C'est notamment sur ce thème qu'un nouveau pas agronomique est franchi, par la connexion entre modèles décisionnels et modèles de culture (Bergez *et al.*, 2001). La continuité qui s'instaure entre décisions techniques et fonctionnement de l'agroécosystème (Bergez *et al.*, 2010) ouvre de vastes perspectives, notamment celle de l'élaboration et de l'évaluation de scénarios dont peuvent s'emparer les acteurs. On donne ainsi à la posture d'accompagnement un fondement scientifique qui va favoriser son expansion (Étienne, 2010), tout particulièrement au Cirad.

Une troisième tendance majeure est la spatialisation des connaissances agronomiques, amorcée dans la période antérieure de façon exploratoire et sur quelques thèmes isolés, mais qui apparaît désormais comme une rupture méthodologique et conceptuelle majeure qui concerne toute l'agronomie[53]. Cette rupture a deux aspects : le premier est celui de la prise en compte de l'espace dans la caractérisation des objets d'étude, c'est-à-dire l'adjonction de trois dimensions supplémentaires à celle du temps, déjà présente dans les modèles de culture ou de cycles biogéochimiques. C'est un saut considérable au regard du volume d'informations à traiter et de la complexité des procédures de traitement mathématique[54] qui en résultent. Il a pour vecteur privilégié

50. La transformation d'Alomysys (Colbach *et al.*, 2006), modèle de dynamique de flore adventice monospécifique, en modèle plurispécifique FlorSys (Colbach *et al.*, 2014b) est à cet égard exemplaire.

51. Typiquement illustrée par FlorSys (chapitre 2, encadré 2.3).

52. Au début des années 2000, l'action transversale Inra-Cirad « Aide à la décision », prolongeant une action incitative programmée (AIP) Inra antérieure initiée de concert par les départements d'Agronomie, du SAD et de Biométrie et intelligence artificielle, permet d'intensifier ces collaborations et débouche sur des publications qui témoignent de l'ampleur de ce front de recherche (de Turckheim *et al.*, 2009).

53. Évolution patente quand on compare les sommaires des deux « états de l'art » sur le sujet, édités par l'Inra à huit ans d'intervalle (Christophe *et al.*, 1996; Monestiez *et al.*, 2004) : les agronomes sont nettement plus présents en 2004.

54. Par exemple, résolution numérique de systèmes d'équations aux dérivées partielles.

les systèmes d'information géographique (SIG), dont s'emparent les agronomes à la suite des pédologues et des géographes. Mais la vraie rupture conceptuelle correspond à l'appréhension des processus spatiaux, c'est-à-dire impliquant des interactions entre sites dont la fonction dépend de la position spatiale, comme c'est le cas pour le ruissellement et l'érosion. Elle concerne là encore pratiquement tous les objets d'étude de l'agronomie : thèmes agro-environnementaux liés à l'hydrologie ou à la propagation des organismes ou organes vivants, prise en compte de l'architecture des plantes, dynamique d'évolution de la structure du sol et ses conséquences sur l'implantation des cultures, organisation et fonctionnement des bassins de production influençant la qualité des produits végétaux, pour ne retenir que quelques exemples illustratifs. La jonction avec l'écologie du paysage devient possible, certains allant jusqu'à évoquer une « agronomie du paysage » (Benoît *et al.*, 2012).

La combinaison de ces trois tendances se traduit par le développement de nombreux travaux où les agronomes étudient, modélisent et accompagnent la gestion de l'espace, notamment à travers la conception et l'évaluation de scénarios prenant en compte les décisions des agriculteurs, ainsi que les systèmes de culture et leur localisation. En France, un exemple emblématique est la place que prennent les agronomes au sein du programme Piren-Seine pour contribuer à la prévision des impacts de différentes formes d'agriculture sur la qualité des eaux. Dans les recherches menées outre-mer, l'approche spatiale et paysagère devient centrale pour comprendre le fonctionnement des terroirs, avec par exemple les interactions très complexes entre forêt et espace cultivé. Le vocable « territoire » devient un des mots-clés les plus cités dans les publications, la contribution de l'agronomie au développement territorial ne se limitant plus à l'étude « en région » de problèmes agronomiques localement prioritaires, mais représentant un apport central dans un « tournant territorial » (Boiffin *et al.*, 2014) qui concerne l'ensemble de la recherche finalisée sur les questions agricoles, alimentaires et environnementales.

Le réinvestissement dans la santé des plantes

Si l'agroécosystème est appréhendé de façon de plus en plus intégrée, la composante biologique du milieu reste un angle mort de la recherche en agronomie, pour différentes raisons, dont certaines difficultés méthodologiques inhérentes à la biologie du sol, mais aussi un choix stratégique d'abandon du domaine phytosanitaire. Même si le réamorçage par les adventices ne tarde pas à se montrer fructueux, il ne concerne qu'un seul type de bioagresseurs, pour lequel l'intervention des agronomes est la moins contestable. Sur les maladies fongiques, des travaux pionniers ont été menés par les agronomes de Grignon en collaboration avec les épidémiologistes (Colbach *et al.*, 1997), mais, faute de possibilités de recrutement, ils sont restés des cas d'école. À la fin des années 1990, les recherches qui avaient le vent en poupe au sein de la direction scientifique Environnement physique et Agronomie de l'Inra concernaient le devenir, et non l'usage, des pesticides, et étaient principalement menées en science du sol, et accessoirement en bioclimatologie pour la partie atmosphérique du cycle[55]. Elles avaient pour finalité essentielle la compréhension et la maîtrise de la pollution

55. Au Cemagref, la problématique des pesticides est également traitée du point de vue des équipements d'épandage.

des eaux. Elles débouchaient sur des applications relevant des aménagements fonciers (fossés, zones tampons, bandes enherbées, etc.), mais s'adressaient finalement très peu aux systèmes de culture.

Le basculement de la problématique s'opère au tout début des années 2000. Il est d'abord dû à l'élargissement et à l'intensification des préoccupations relatives aux impacts des pesticides. Il devient de plus en plus évident que la pollution croissante des eaux et de l'air ne pourra être maîtrisée en agissant uniquement sur les transferts et transformations des pesticides, et qu'il faut intervenir à la source, sur la nature et la quantité des épandages. Un autre puissant facteur de rééquilibrage est la montée des préoccupations relatives à la biodiversité et aux impacts des pesticides sur les organismes « non-cibles » : ces impacts peuvent encore moins être contrôlés après épandage, et s'avèrent imparfaitement pris en compte au niveau des évaluations préalables aux autorisations de mise en marché, comme le montre le cas des abeilles. L'expertise collective Pesticides (Aubertot *et al.*, 2005), réunissant l'Inra et le Cemagref, est la première traduction officielle et retentissante de cette prise de conscience.

Cette dynamique d'origine exogène entre en résonance avec la dynamique endogène, jusque-là encore timide, de réinvestissement dans la gestion phytosanitaire, qui est elle-même favorisée par le décloisonnement interdisciplinaire intervenu au sein de la recherche agronomique. Les nouvelles configurations, tant du Cirad que de l'Inra, font apparaître des possibilités de synergies inédites entre agronomes et biologistes de la santé des plantes. Un premier point de convergence est l'écotoxicologie, et tout particulièrement l'étude des processus d'exposition des organismes non-cibles. L'agronomie y apporte une contribution significative à travers l'analyse des itinéraires techniques et de leurs effets sur l'agroécosystème.

Un autre carrefour de rencontre est l'épidémiologie, qui mobilise à la fois l'écologie des bioagresseurs, la bioclimatologie, l'écophysiologie des plantes et l'agronomie des systèmes de culture. Elle débouche sur les notions de protection intégrée (Ricci *et al.*, 2011) et de protection agroécologique des cultures[56], qui toutes deux reposent sur la compréhension et la valorisation des effets écologiques des interventions culturales. Des équipes d'agronomes se constituent pour développer cette orientation, à Avignon, Grignon et Toulouse à l'Inra, et dans plusieurs unités de recherche au Cirad, avec de nombreux travaux en Afrique, à Madagascar, à la Réunion, aux Antilles. Sur les adventices, l'équipe de l'Inra de Dijon se renforce, fusionne avec celle de malherbologie et développe des approches d'expérimentation, d'enquête et de modélisation à la fois originales et de grande ampleur (Chauvel *et al.*, 2018). Un courant inédit de publications relatives à la santé des plantes, dont les agronomes sont auteurs ou coauteurs, apparaît dans la littérature scientifique, aussi bien dans des ouvrages ou revues agronomiques où la santé des plantes était peu abordée que dans des supports de pathologie végétale, malherbologie ou entomologie, où les agronomes ne publiaient pas. Ces publications ont pour support des agrosystèmes du Nord comme du Sud, et font appel à des démarches de modélisation innovantes (Tixier *et al.*, 2006), préfigurant des hybridations fortes avec les concepts de l'écologie (Tixier *et al.*, 2013).

56. Plus radicale, cette dernière est basée sur une utilisation renouvelée du concept de biodiversité. Elle est issue d'approches initiées par les agronomes et entomologistes du Cirad, et appliquées par exemple à la Réunion (Deguine *et al.*, 2008). Des agronomes de l'Inra se joignent ensuite à ce courant, qui s'étend à d'autres types de bioagresseurs (Deguine *et al.*, 2016).

À partir du milieu des années 2000, la préoccupation relative à l'impact des pesticides se mue en exigence sociétale de réduction massive de leur usage, qui à l'issue du Grenelle de l'environnement en 2007 donne naissance au plan Écophyto (chapitre 9, encadré 9.4). La place reconnue à l'agronomie dans la gestion de la santé des plantes s'en trouve fortement accrue, puisqu'il faut recourir aux autres techniques culturales pour protéger les cultures, et même reconcevoir les systèmes de culture en fonction de cet objectif. Ce nouveau statut est attesté par le leadership confié aux agronomes dans la préparation et le suivi de plusieurs actions majeures du plan, et tout particulièrement le dispositif Dephy, conçu puis animé et valorisé avec le concours décisif des agronomes de l'Inra et d'autres organismes. Du point de vue conceptuel, la notion de système de culture s'avère un puissant vecteur de cette dynamique de « reconquête » de la prise en compte de la santé des plantes. Elle permet de structurer l'analyse des situations agricoles et de donner une traduction concrète – opter pour de nouvelles rotations culturales – à la version la plus radicale du paradigme ESR (« efficience, substitution, reconception »), qui guide la recherche d'une gestion durable de la santé des plantes (Butault *et al.*, 2010).

Agronomie et changement climatique, une nouvelle boîte de Pandore

Au tournant des années 2000, la recherche agronomique française appréhende l'environnement comme une finalité en soi, mais la problématisation est encore en pleine maturation, et la hiérarchie des thèmes porte encore la marque d'une vision étroitement agricole de l'environnement. Dans le document d'orientation 2001-2004 (Collectif, 2001), le changement climatique n'est mentionné que de façon relativement subsidiaire, à travers les émissions de gaz à effet de serre par l'agriculture. Avec plus de dix ans de retard par rapport aux communautés scientifiques des sciences de l'environnement, c'est à partir du milieu de la décennie 2000-2010 qu'il fait l'objet d'un fort courant de réflexions transversales dans les sphères de recherche agronomique (Malézieux et Seguin, 2004 ; Malézieux, 2004 ; Pérarnaud *et al.*, 2005), avant d'être affiché à l'Inra comme enjeu institutionnel prioritaire (Pellerin *et al.*, 2019b)[57]. Il n'apparaît ainsi de façon explicite que dans le deuxième schéma stratégique du département EA, qui couvre la période 2004-2008 (Bruckler *et al.*, 2019). Et encore n'est-ce que sur l'un des deux versants du problème, celui de l'atténuation de l'effet de serre. L'enjeu symétrique, celui de l'adaptation, est d'abord énoncé par la communauté scientifique internationale en lien avec les forts impacts du changement climatique sur les agricultures du Sud. Il est affiché par le Cirad dès 2000, mais bien plus tardivement à l'Inra, où il n'apparaît comme priorité structurante du département EA que dans la génération suivante (2010-2015) des schémas stratégiques.

Sur le volet de l'atténuation, l'agronomie peut se prévaloir de résultats substantiels concernant la partie agricole du cycle du carbone (fixation dans les cultures et évolution de la matière organique du sol, chacun de ces deux aspects étant fortement dépendant

57. Membre du GIEC et chef de département adjoint EA à l'Inra, le bioclimatologue B. Seguin joue un rôle-clé dans la prise de conscience que le changement climatique est beaucoup plus qu'un thème supplémentaire pour la recherche agronomique (Seguin, 2010). Il sera ensuite fortement relayé par J.-F. Soussana, également membre du GIEC et spécialiste de la prairie au sein de l'ex-département d'Agronomie (Soussana, 2013).

des itinéraires techniques et des systèmes de culture). Or d'autres gaz à effet de serre sont émis ou fixés par l'agriculture, notamment le méthane et le protoxyde d'azote. Dans ce dernier cas, les agronomes sont à nouveau fortement concernés, mais tout reste à découvrir, car en matière de bilan d'azote, les émissions de N_2O sont négligeables et n'ont donc pas été étudiées. Le défi est redoutable : du point de vue des échelles d'appréhension, il oblige à faire le grand écart. Avant même de comprendre les processus, il faut apprendre à mesurer des flux dont les ordres de grandeur sont très inférieurs à ceux des flux de nitrates, et même aux erreurs de mesure sur ces flux. Mais ces phénomènes, infiniment ténus à l'échelle de la parcelle, prennent une importance majeure à l'échelle planétaire. Et surtout, ils amènent à appréhender le cycle de l'azote et son couplage avec celui du carbone de façon totalement nouvelle, c'est-à-dire véritablement globale, incluant toutes les étapes de la « cascade de l'azote » (Gruber et Galloway, 2008), depuis la synthèse industrielle de l'ammoniac qui initie la fabrication des engrais jusqu'à la dénitrification plus ou moins complète dans les zones humides extra-agricoles, en passant par les transferts atmosphériques – tous sujets qui sont des terres inconnues pour les agronomes[58].

Pour relever ce défi, les dispositifs interdisciplinaires tels que le département EA au sein de l'Inra ou la vaste plateforme inter-organismes que constitue le site de Montpellier sont sans conteste des atouts majeurs. Dans ce cadre, les agronomes contribuent significativement au courant de publications sur les émissions de gaz à effet de serre (Pellerin *et al.*, 2019a). Ils jouent un rôle leader dans l'élaboration de plusieurs expertises collectives, synthèses expérimentales (Dimassi *et al.*, 2014) ou méta-analyses (Mary *et al.*, 2014) réalisées sur le sujet, qui contribuent à redresser « la trajectoire sinueuse des connaissances de l'impact du travail du sol sur le stockage de carbone et sur les émissions de gaz à effet de serre » (Balesdent, 2019). Les agronomes du Cirad participent à l'étude de la séquestration du carbone, étendue à toute la gamme des écosystèmes (forêts sèches ou humides, plantations, agricultures de savane, etc.). Les résultats sont intégrés dans des études à l'échelle planétaire (Besnard *et al.*, 2019 ; Fu *et al.*, 2018).

Sur le volet de l'adaptation, il faut d'abord comprendre et prévoir les impacts du changement climatique sur le comportement des cultures. Les modèles de culture tels que Stics constituent de puissants outils d'expérimentation virtuelle, qui permettent d'appréhender les effets ambivalents de l'augmentation de la teneur en carbone de l'atmosphère, et du changement climatique *stricto sensu* (Brisson et Levrault, 2010). *A posteriori*, ces modèles peuvent être utilisés pour confronter les tendances observées – notamment concernant les dates de floraison et de maturité, ou l'évolution des rendements – aux données météorologiques enregistrées dans les dernières décennies (Brisson *et al.*, 2010). L'éventail des sujets agronomiques étudiés en lien avec le changement climatique ne cesse de s'ouvrir : possibilités d'avancement des dates de semis, risque de déstabilisation des aires d'appellation viticoles, avancement des dates de floraison des arbres fruitiers et accroissement concomitant des risques de gel, pour ne citer que quelques exemples. Aux confins de la physiologie végétale et de la génétique, les écophysiologistes de l'UMR Lepse de Montpellier (Laboratoire d'écophysiologie des plantes sous stress environnementaux)

58. Un fait particulièrement révélateur à cet égard est la publication de Crutzen *et al.* (2008) qui contredit l'effet favorable des biocarburants agricoles sur l'effet de serre, en établissant un bilan planétaire global de l'azote : alors que le cycle de l'azote est le cœur historique de la recherche en agronomie, c'est un chimiste qui est à l'origine de cette approche agro-environnementale pertinente et novatrice.

développent une analyse systémique de la réponse au stress hydrique, et de son déterminisme génotypique, pour contribuer à l'élaboration des idéotypes variétaux adaptés à la sécheresse. Dans son cœur de métier, l'agronomie est mobilisée pour concevoir des systèmes de culture et des itinéraires techniques qui diminuent l'exposition aux risques climatiques, comme l'illustrent l'expertise collective « Sécheresse » (Amigues *et al.*, 2006) à l'Inra et les nombreux projets qui portent sur l'adaptation au changement climatique des agricultures du Sud (Torquebiau, 2015).

Écologisation et globalisation

Tels sont les mots-clés qui, selon Bruckler *et al.* (2019), caractérisent l'évolution de la stratégie de recherche du département EA de l'Inra à partir de 2010. Ils s'appliquent également à la plupart des organisations pluridisciplinaires au sein desquelles sont désormais intégrés les chercheurs ou enseignants-chercheurs en agronomie, notamment au Cirad.

Déjà bien établies dans la période antérieure, les relations avec les écologues se multiplient et s'intensifient tout au long des années 2000, à un moment où cette discipline cherche également à sortir des systèmes « naturels » pour s'intéresser aux systèmes « anthropisés ». Les écologues du CNRS ou du MNHN prennent une place importante dans les instances d'évaluation, de recrutement et d'orientation des départements du Cirad et de l'Inra qui hébergent les chercheurs en agronomie. La politique de recrutement d'écologues, dont le département SAD avait été précurseur, s'amplifie. De façon plus fondamentale, de nombreux leaders scientifiques cherchent à appliquer à l'agronomie les concepts et méthodes issus de l'écologie : ingénierie écologique (Lescourret *et al.*, 2015a) ; services écologiques, qui intègrent la notion de multifonctionnalité dans un cadre scientifique plus général (Lescourret *et al.*, 2015b) ; intensification écologique (Doré *et al.*, 2011b) ; écologie du paysage (Benoît *et al.*, 2012) ; protection agroécologique des cultures (Deguine *et al.*, 2016) ; protection intégrée valorisant la biodiversité (Lescourret *et al.*, 2019) ; sans oublier des concepts directement issus de l'écologie comme ceux de « trait de vie » ou de « trait fonctionnel », dont l'application se révèle très fructueuse pour affronter le problème de la diversité des espèces, tant en écophysiologie qu'en matière de dynamique de flore adventice (Colbach *et al.*, 2014a). Ces concepts sont aussi centraux pour comprendre les systèmes complexes, comme les systèmes agroforestiers (Malézieux *et al.*, 2009). Une forme inédite d'interaction agronomie-écologie est la collaboration qui se noue dans les années 2000 autour des impacts écologiques des cultures transgéniques (Gouyon *et al.*, 2001) : cette fois, la liaison s'établit non plus seulement avec l'écologie fonctionnelle, mais avec l'écologie évolutive, jusque-là étrangère à l'agronomie. Cependant, ces collaborations restent circonscrites au sujet des OGM, alors que celles avec l'écologie fonctionnelle poursuivent leur développement. Ce retard est particulièrement frappant en matière de biologie des sols : l'agronomie n'est encore impliquée que de façon très exploratoire dans l'exploitation des vastes perspectives que lui offrent les avancées méthodologiques de l'écologie microbienne (Lemanceau, 2019).

Dans les sphères de recherche agronomique, l'« écologisation » de la recherche en agronomie ne remet pas en cause l'agronomie en tant que discipline, bien au contraire, elle démontre sa capacité à évoluer pour s'adapter aux nouveaux enjeux du XXIe siècle.

Prenant à revers la sensation de « bonne conscience écologique », qui commençait tout juste à s'installer dans la communauté des agronomes, le développement de l'agroécologie dans les années 2000, et surtout le nouveau tour qu'elle fait prendre aux débats sur la durabilité de l'agriculture posent une question cruciale. Si partout dans le monde les formes d'intensification agricole s'avèrent aussi peu durables, n'est-ce pas parce que la science qui les sous-tend n'est pas qualifiée pour assumer cette durabilité, et qu'il faut soit la refonder, soit lui en substituer une autre ? Pour assumer le tournant écologique et attirer les vocations, faut-il aller jusqu'à donner une autre appellation à la science de la conduite des cultures, « agroécologie » sonnant plus clair et plus mobilisateur que « agronomie » ? Accueillie pour l'essentiel dans un esprit d'ouverture et d'autocritique constructive, l'agroécologie constitue de fait, dans les années 2010, un enjeu stimulant plutôt qu'une menace. Ce dépassement résulte pour partie d'une clarification des acceptions de l'agroécologie (Wezel *et al.*, 2009) : mouvement sociopolitique émancipateur, ensemble de pratiques agricoles, discipline ou domaine scientifique[59]. C'est en considérant ce dernier aspect que les chercheurs français, qui se demandent si « l'agronomie est [...] soluble dans l'agroécologie » (Aubertot *et al.*, 2016), peuvent répondre paisiblement par la négative : l'agroécologie n'inclut pas, ou de façon très partielle, la composante technologique de l'agronomie, et tout particulièrement son extension vers les sciences de gestion[60]. En définitive, l'émergence de l'agroécologie[61] aura poussé l'agronomie à remettre en cause ses finalités, et à construire de nouveaux paradigmes plus en phase avec les nouveaux enjeux des agricultures du monde. La biodiversité devient ainsi un objet central pour comprendre et piloter les agrosystèmes (Malézieux, 2012 ; Reboud et Malézieux, 2015 ; Gaba *et al.*, 2015).

La globalisation des problématiques, des thématiques et des démarches est une autre tendance marquante de l'évolution de la recherche agronomique, et en son sein tout particulièrement des composantes qui ont pour objet d'étude le fonctionnement des agroécosystèmes et ses impacts sur l'environnement. Comme l'illustre le vocable « agronomie globale » (Makowski *et al.*, 2014), l'agronomie est en première ligne de cette évolution, qui combine différents aspects. Le plus évident est l'extension de la gamme des échelles spatiales et des niveaux d'organisation auxquels sont appréhendés le fonctionnement et la gestion des agroécosystèmes. S'agissant du changement climatique, des cycles biogéochimiques, de la biodiversité ou de la sécurité alimentaire, cette extension atteint d'emblée le niveau planétaire. Pour d'autres types de problèmes, le « macroscope » doit s'ajuster à l'une des échelles intermédiaires entre la région et le monde : nation, continent, grand bassin fluvial. De cette extension aux échelles globales découle un ensemble de défis méthodologiques, entre autres celui d'une caractérisation exhaustive du milieu et des systèmes de culture sur de grandes étendues[62], ou encore celui de la synthèse des innombrables expérimentations menées sur des thèmes voisins dans des contextes géographiques différents. C'est notamment en réponse à ce problème de contingence

59. Cette polysémie fait écho à celle du terme « écologie » en français, mouvement politique ou discipline scientifique.

60. Position exprimée en des termes voisins par Hinsinger *et al.* (2019b) dans un texte évoquant les perspectives de recherche en matière d'environnement et d'agronomie.

61. Dont la délimitation en tant que champ scientifique est elle-même très variable (incluant ou non amélioration des plantes, élevage et transformation des produits).

62. La caractérisation de la répartition géographique des systèmes de culture requiert des procédures particulièrement sophistiquées (Mignolet, 2010).

des résultats expérimentaux – au demeurant aussi ancien que l'agronomie, mais jamais bien résolu – que se développent les approches de méta-analyse et leur application à l'agronomie (Makowski *et al.*, 2018 ; Lesur-Dumoulin *et al.*, 2017 ; Beillouin *et al.*, 2021).

Un deuxième aspect de la globalisation est, pour l'agronomie, la rencontre de « macro-processus » tels que la circulation atmosphérique, la mondialisation des échanges, la division internationale du travail quant à la production agricole, et les dynamiques géopolitiques mondiales, processus qu'elle pouvait ignorer lorsqu'elle se confinait aux échelles « parcelle », « exploitation » voire « petite région » en les occultant au sein de la vaste boîte noire du « contexte ». Certes, il n'est pas du ressort de l'agronomie de les étudier, en revanche certains objets d'étude qui relèvent sans conteste de son domaine en sont directement tributaires. L'exemple caractéristique est celui de la gestion durable des cycles biogéochimiques, thème auquel les agronomes apportent une contribution substantielle en développant des approches inédites par leur exhaustivité. Dans le cas du phosphore par exemple, elles prennent en compte les flux liés au commerce transcontinental des protéines pour l'alimentation du bétail, et des phosphates pour la fabrication des engrais (Senthikumar *et al.*, 2012 ; Pellerin *et al.*, 2014). Aux échelles continentales ou régionales, ces approches mènent à l'établissement de scénarios territoriaux et globaux prenant en compte les stocks et flux de matières fertilisantes de divers types, en particulier les produits résiduaires de toutes origines, et leur utilisation agricole (Billen *et al.*, 2019).

Le « point culminant » du défi de la globalisation pour l'agronomie est la conjonction des problématiques environnementales – elles-mêmes multiples – et alimentaires. Peu présents dans les grandes études prospectives récentes sur la capacité de la planète à satisfaire les besoins liés à la croissance démographique mondiale et à l'évolution des régimes alimentaires, les agronomes sont interpellés par les antagonismes qui apparaissent de prime abord entre augmentation de la production agricole, limitation du dérèglement climatique et préservation de la biodiversité : ils ne peuvent être résolus qu'au niveau des « systèmes agroalimentaires régionaux » (Billen *et al.*, 2014). La répartition géographique de ces systèmes doit être combinée à celle des habitats et des lieux de consommation pour concilier les différents objectifs. Tout récemment, plusieurs ouvrages collectifs ou articles de synthèse[63] démontrent que les chercheurs en agronomie sont en pleine réflexion sur cette perspective.

Un renouvellement des partenariats d'application et des liens recherche-développement

Un contexte plus partenarial

Au tout début des années 2000, le climat institutionnel, au sein de la recherche agronomique, est devenu plus favorable à la reconnaissance de l'innovation et de l'expertise comme produits de la recherche à part entière, dûment pris en compte dans les évaluations individuelles et collectives[64]. Ce rééquilibrage traduit une prise de conscience, de

63. Voir par exemple Lemaire *et al.* (2019a) ; Beillouin *et al.* (2021).
64. Elles constituent deux des cinq branches de l'« étoile des produits de la recherche », métaphore utilisée par le sociologue Michel Callon, dont les analyses sont diffusées au sein de l'Inra et du Cirad et sont à la racine de la démarche Erefin (Évaluation de la recherche finalisée).

la part des dirigeants de la recherche publique finalisée, du risque de perte d'identité – et à terme de remise en cause de leur existence – que courent ces organismes s'ils se laissent totalement orienter par les dynamiques d'accroissement des connaissances et laissent le champ libre au tropisme académique. Or ce dernier ne cesse d'accroître son emprise sur les communautés scientifiques de base, y compris celles liées aux disciplines à dimension technologique comme l'agronomie. De surcroît, la force d'appel qu'exercent les organismes d'application et d'innovation, à travers leurs thèmes de recherche, leur motivation à valoriser les résultats acquis et leur propension à coopérer, est beaucoup moins intense – parfois même, elle devient négative – pour traiter les enjeux environnementaux que pour poursuivre l'intensification de la production. L'agronomie est plus que tout autre domaine disciplinaire le lieu où s'exercent ces tensions, et où se joue l'avenir d'une innovation agro-environnementale soutenable. Dans un tel contexte, il est clair qu'une responsabilité nouvelle incombe à la recherche publique : elle doit assumer un leadership dans l'orientation de l'innovation agronomique, faute de quoi cette dernière restera ciblée sur les mêmes objectifs. Or ce n'est pas en s'isolant, mais au contraire en entraînant l'ensemble du système de recherche-développement, que la recherche publique peut réorienter l'innovation agronomique, et plus spécialement l'innovation en agronomie. Toujours et partout déterminante, la question du partenariat se pose et se résout sous des formes différentes selon les contextes géographiques et institutionnels. À l'Inra, le partenariat avec le développement agricole fait l'objet de deux « radioscopies » collectives (Béranger *et al.*, 2001 ; Guyomard, 2011), traduisant l'inquiétude des dirigeants de l'organisme vis-à-vis de la cohérence du soi-disant « système » de recherche-développement agronomique.

Au Cirad, la proclamation de « la science au centre » comme priorité stratégique n'est pas – en tout cas pas encore – le signe d'une mutation identitaire : la continuité recherche-développement reste inscrite dans les missions fondamentales de l'organisme. Pour les chercheurs du Cirad, la finalité d'application de leurs recherches n'est pas en discussion : ce qui l'est, ce sont les cibles et les modalités des démarches d'innovation et d'expertise, dans des contextes où les organismes de développement sont faibles, voire inexistants, et où les financeurs internationaux restent plus motivés par les enjeux de sécurité alimentaire que par ceux de durabilité. L'une des priorités identifiées dès le tournant des années 2000 est de faire émerger des formes plus efficaces d'organisation et de coordination des acteurs. Face à la complexité grandissante des situations agraires et à la diversité des partenaires et de leurs demandes, les chercheurs privilégient une approche de recherche-action et d'accompagnement des dynamiques agricoles en cours, en s'adaptant aux situations locales et en prenant en compte les pratiques existantes (Malézieux et Trébuil, 2000). La question du partenariat débouche ainsi directement sur celles des régimes d'innovation, et du type de relation agronome-praticien.

Les agronomes de l'Inra sont quant à eux confrontés à un système de recherche-développement à la fois beaucoup plus puissant, mais aussi beaucoup plus cloisonné que leurs collègues du Cirad. Cette segmentation est une des clés du contrôle qu'exercent les organisations professionnelles et économiques sur l'orientation du processus d'innovation agricole. La crise du système de financement du développement agricole en France, aboutissant à la fin de l'Association nationale pour le développement agricole (Anda) en 2003 et à la création du Casdar (compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural »), sur lequel s'exerce désormais un contrôle beaucoup plus fort de la part de l'État, crée une opportunité d'innovation dont vont

s'emparer les tenants d'une rénovation de l'interface recherche-développement. Les unités et réseaux mixtes technologiques (UMT, RMT) sont instaurés, une partie des fonds du Casdar est réservée au financement de projets coopératifs auxquels doivent prendre part des équipes de recherche publique, et l'implication de ces dernières dans l'orientation des organismes de recherche-développement professionnels est considérablement renforcée[65]. Les organismes de développement sous contrôle professionnel sont amenés, sous peine de voir s'amenuiser leurs financements, à réorienter leurs programmes et à intensifier leurs coopérations avec l'Inra ou l'Irstea sur des thèmes agro-environnementaux. Le Grenelle de l'environnement accroît encore d'un cran la pression sur ces organismes et les oblige à s'investir dans de nouveaux dispositifs partenariaux tels que le plan Écophyto ou le GIS « Grande culture à hautes performances économiques et environnementales »[66]. Au milieu des années 2010, on peut dire que le fonctionnement du dispositif de recherche-développement agronomique est devenu beaucoup plus coopératif, cette évolution allant de pair avec une dynamique de regroupement des organismes. Les contradictions et conflits sur les objectifs ne sont ni annulés ni résolus, mais s'exercent dans un nouveau cadre, et sur un mode de « partenariat-confrontation ». Vis-à-vis des chercheurs, cette évolution a au moins pour effet positif une sollicitation accrue pour s'impliquer dans l'innovation agro-environnementale.

L'importance qu'accorde l'Inra au lien recherche-développement se confirme et s'amplifie dans les années 2010, avec l'instauration d'une direction scientifique Agriculture qui a pour mission de développer ce lien, et la création du GIS Relance agronomique qui coiffe les GIS de filières, concernant désormais tout l'éventail des productions animales et végétales. Dans le même temps, le partenariat de l'Inra avec les mouvances sociopolitiques contestataires par rapport au courant dominant[67] continue de s'étendre en direction d'organismes de développement considérés jusqu'alors comme plus ou moins marginaux[68]. La recherche en agronomie met à profit cette conjoncture institutionnelle et s'y implique très activement : elle est à l'initiative de plusieurs des UMT, RMT et GIS de première génération, et très présente dans les projets Casdar, y compris en partenariat avec les organismes « non conventionnels » susmentionnés.

La transition dans les régimes d'innovation, vue côté recherche

À travers des itinéraires différents, et de façon plus directe et précoce au Cirad qu'à l'Inra, les agronomes des deux établissements se retrouvent confrontés à la même exigence de renouvellement des régimes d'innovation, pour des raisons qui tiennent d'une part au caractère systémique des objets d'innovation, d'autre part au caractère interactif du processus d'innovation.

65. À travers notamment l'instauration obligatoire de conseils scientifiques pour l'ACTA, l'APCA et chaque institut technique, dont le président doit appartenir à la recherche publique. Le comité d'orientation scientifique et technique (COST) de l'ACTA, qui est présidé par un dirigeant de l'Inra, et où les responsables de la recherche publique sont très fortement représentés, joue un rôle majeur dans la répartition des crédits du Casdar, la qualification des instituts techniques et la validation de leurs plans stratégiques.
66. Ce dernier est créé à l'initiative de Marion Guillou, alors PDG de l'Inra et animatrice du Comité opérationnel « recherche » du Grenelle de l'environnement.
67. Une convention entre l'Inra et la Confédération paysanne est signée en 2002 et donne lieu à la tenue d'un séminaire sur la désintensification de l'agriculture (Inra, Mission Environnement-Société, 2003).
68. Cas des Civam (Boiffin *et al.*, 2013a) et de l'Institut technique de l'agriculture biologique (ITAB), dont le conseil scientifique est présidé par l'agronome J.-M. Meynard, chef du département SAS jusqu'en 2012.

Quel que soit le problème à traiter, et *a fortiori* si on doit en traiter plusieurs conjointement, on débouche sur la double nécessité de reconcevoir les systèmes de culture, et de proposer de nouvelles modalités d'aménagement et de gestion de l'espace. Et ce, désormais, sans se limiter à la composante agricole, mais en prenant en compte une pluralité d'acteurs. Déjà largement amorcée au cours de la période précédente, cette complexification a suscité l'émergence du régime d'innovation « de l'agronomie-système » (chapitre 5). Le recours accru à la modélisation et l'accroissement de la taille des modèles permettent de nourrir cette dynamique, mais de manière insuffisante au regard de la complexité et de la diversité des systèmes qui constituent désormais les objets d'innovation. De surcroît, et à quelques exceptions près, les modèles issus de la recherche en agronomie s'avèrent plutôt générateurs d'incompréhension que de rapprochement entre chercheurs, agents du développement et agriculteurs.

C'est à travers un double processus de tâtonnement empirique et d'importation théorique, notamment en provenance de l'École des Mines de Paris, avec laquelle le département SAD de l'Inra maintient les liens noués par le groupe « Impact » dans la période précédente, qu'émerge le régime d'« innovation ouverte »[69]. Sous d'autres appellations, cette émergence a été plus précoce au Cirad, en raison d'une confrontation plus directe des chercheurs avec les limites des postures prescriptives. Pour sortir par le haut de la double impasse hypercomplexité-hyperdiversité, il a fallu changer de paradigme et ne plus mettre la recherche et la science à l'origine exclusive du processus d'innovation, comme c'était le cas, explicitement ou implicitement, depuis les débuts de l'agronomie. Cela conduit à mettre en synergie les différents types de savoirs, à rééquilibrer et surtout à modifier la relation entre praticiens et chercheurs, qui s'inscrit désormais dans l'approche d'accompagnement et prend ses distances avec celle de prescription raisonnée.

Dans ce cadre, la contribution de la recherche à l'innovation devient plus méthodologique que technologique : il ne s'agit plus de fournir des alternatives techniques « clé en main », mais d'aider à concevoir, identifier et évaluer des options et scénarios, puis d'aider à suivre et guider leur mise en œuvre en documentant les tâtonnements successifs qui permettent de mettre au point les innovations systémiques. En amont, la mobilisation des capacités d'invention, aussi bien des praticiens que des chercheurs, et leur mise en synergie à travers des procédures itératives permettent d'ouvrir radicalement l'éventail des options techniques, sans éluder les changements radicaux de systèmes de culture ou d'aménagements de l'espace[70]. Suite à ce déverrouillage, il faut alors démultiplier les boucles de rétroaction usage-perfectionnement : l'évaluation multicritère (Bockstaller *et al.*, 2019) est à cet égard la contribution la plus marquante de la recherche en agronomie. Elle est encore aujourd'hui le support d'un intense courant de coopération entre recherche et développement. Ainsi le logiciel MASC (Sadok *et al.*, 2009) est-il utilisé dans de nombreux projets coopératifs soutenus par le Casdar. Plus globalement, l'évaluation multicritère devient un véritable champ d'émulation entre organismes, voire même

69. Dans son application à l'agriculture, il devient « innovation pour la transition agroécologique » (chapitre 5).
70. Créé en 2007, le RMT Systèmes de culture innovants est à la pointe de ce mouvement. Il joue un rôle majeur dans la mise en place du dispositif Dephy au sein du plan Écophyto, et dans la promotion des systèmes de culture les plus en rupture par rapport aux pesticides.

entre équipes tenantes de telle ou telle école[71]. La modélisation d'accompagnement déjà évoquée est un autre point d'ancrage des coopérations, particulièrement utile en matière d'aménagement et de gestion de l'espace pour tester des scénarios et permettre un ajustement progressif conciliant les objectifs et les intérêts de différents acteurs. Cette utilité est illustrée par la plateforme Co-click'eau (Chantre *et al.*, 2016), de plus en plus souvent mobilisée dans les démarches de concertation collective visant à améliorer la gestion de l'eau.

Mis en œuvre sous des formes et à des degrés divers, le régime d'innovation ouverte est aujourd'hui sinon la norme, en tout cas un principe de référence dans l'ensemble des démarches d'innovation en agronomie. Il a d'ailleurs incorporé et assimilé plutôt que remplacé et mis au rebut les régimes antérieurs.

Les pouvoirs publics, partenaire alternatif ?

L'élaboration d'expertises et d'études collectives de grande ampleur, en réponse à des commandes des ministères de l'Agriculture et de l'Environnement, est un trait marquant de l'évolution de la recherche agronomique durant cette période. L'élaboration des politiques publiques – notamment en réponse aux crises sanitaires ou environnementales, et aux enjeux de sécurité alimentaire mondiale et de préservation de la planète – implique un appel intense et constamment renouvelé à l'éclairage scientifique. Quant aux institutions de recherche publique finalisée, leur légitimité au regard de l'intérêt général a besoin d'être confortée, et leur contribution au développement économique ne peut plus en être le seul garant. Pour l'Inra, cela implique de rééquilibrer l'influence respective que prennent les agences d'objectif publiques et les organisations professionnelles agricoles dans le dialogue sur ses orientations, et de diversifier les interlocuteurs, l'un des plus importants étant désormais l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe).

Déjà expérimentée de longue date par l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), la réalisation d'expertises et d'études collectives en réponse à la commande publique, et sur des sujets où la science est en pleine évolution, apparaît comme une voie particulièrement intéressante pour concrétiser cette convergence d'intérêts, car elle suscite un dialogue intense entre pouvoirs publics et recherche, tout en préservant l'indépendance de cette dernière. Pour que les communautés scientifiques s'y impliquent, il faut que la démarche d'élaboration soit systématisée, que les activités et produits qui en découlent soient reconnus dans les évaluations, et que des moyens spécifiques soient attribués. En France, le département EA de l'Inra est à la pointe de cette dynamique (Stengel et Schmitt, 2019), inaugurée par l'expertise collective Pesticides déjà citée. À chaque fois, les agronomes sont fortement impliqués, souvent en position de maîtres d'œuvre dès lors que l'impact des systèmes de culture et leurs possibilités d'évolution sont au cœur de la question posée (figure 6.2). C'est un investissement considérable, qui mobilise les leaders scientifiques les plus chevronnés. Pour certains d'entre eux, cet engagement prolonge, et même remplace au moins partiellement, celui qu'ils avaient déjà dans des dispositifs d'interface avec le développement agricole, comme les unités ou réseaux mixtes technologiques.

71. Dans le « méta-projet » Plage, Agrotransfert Ressources et Territoires (nouvel intitulé d'Agrotransfert-Picardie) élabore une plateforme qui regroupe plusieurs dizaines d'outils d'évaluation multicritère et les caractérise pour permettre aux utilisateurs de choisir au mieux en fonction de leurs besoins (Surleau-Chambenoit *et al.*, 2013).

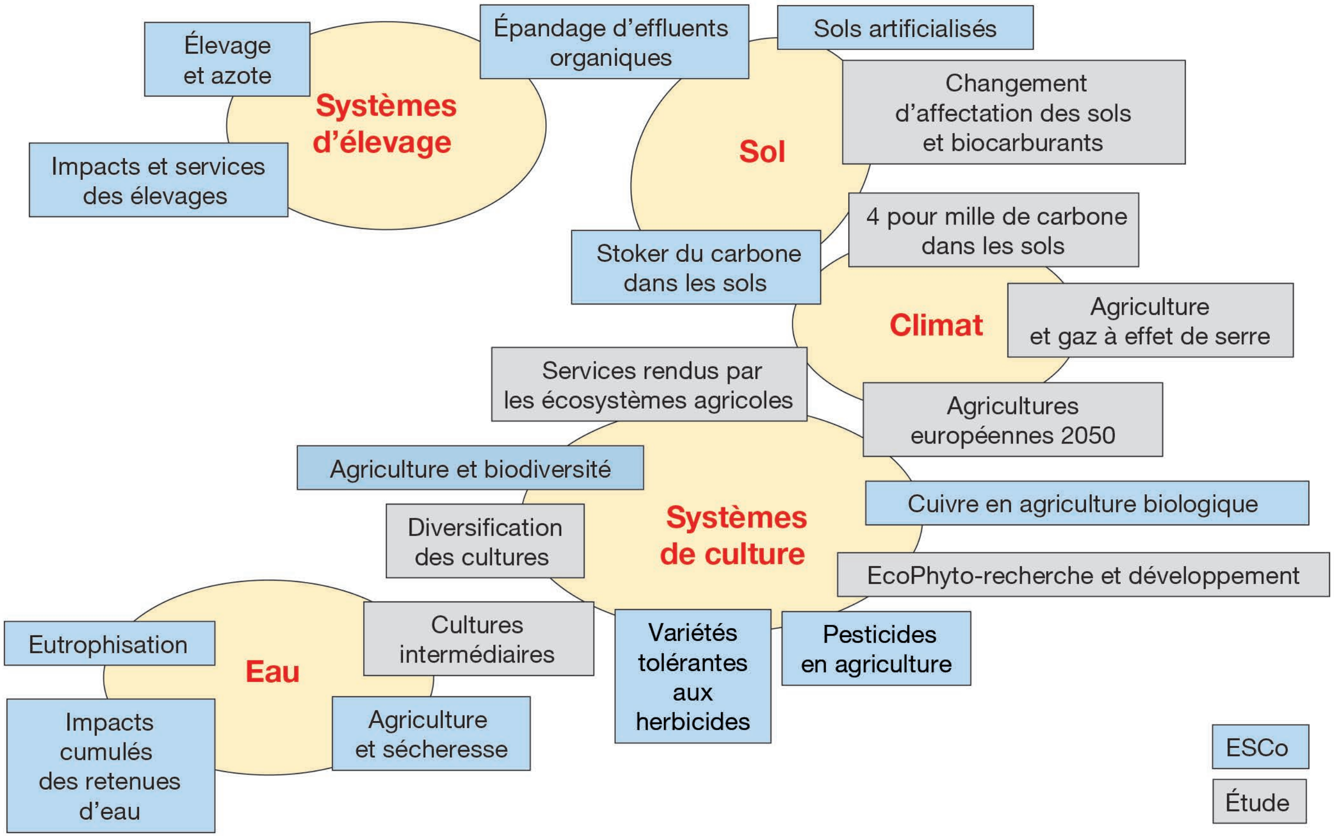


Figure 6.2. Thèmes des vingt expertises scientifiques collectives (ESCo) ou études réalisées par l'Inra de 2000 à 2020, avec une contribution importante de l'agronomie. Reprise de Stengel et Schmitt (2019), actualisée pour 2018-2020.

Les rectangles indiquent les sujets des études ou expertises, les ovales indiquent les domaines thématiques auxquels se rattachent ces sujets.

Un pas supplémentaire est franchi lorsqu'il est demandé aux chercheurs de s'engager plus avant dans l'action publique pour préparer des plans d'action, comme c'est le cas pour l'étude «Écophyto R&D» (Butault *et al.*, 2010), animer leurs instances de suivi, coordonner le recueil des références nécessaires, si ce n'est participer directement à certaines actions. Au Cirad, des chercheurs agronomes s'impliquent dans différentes négociations internationales sur la biodiversité, le climat, l'alimentation, au sein de différentes instances comme l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), ou à l'occasion de sommets internationaux qui impliquent des décideurs publics. L'implication des agronomes français dans la transition agroécologique n'est pas pour rien dans le changement opéré par la FAO ces dernières années dans sa politique internationale vis-à-vis de cette thématique. De la même façon, les recherches conduites par les agronomes sur l'adaptation au changement climatique et la mitigation vis-à-vis du changement climatique sont non seulement publiées sur le plan académique, mais valorisées dans des instances internationales à des fins de décision publique. Les résultats de recherche sont ainsi diffusés dans des productions de la FAO, en incluant les nouvelles visions portées par l'agroécologie (Beed *et al.*, 2021).

Compte tenu de l'investissement qu'exigent ces démarches, et de la différence de nature des interlocuteurs rencontrés, il s'agit d'une véritable réorientation stratégique des partenariats d'application de la recherche. Cette réorientation fait écho à des motivations profondes de la part des agronomes de la recherche, qui se sont fortement approprié la finalité de bien public. Les expertises et les études collectives utilisent intensivement des démarches qui leur sont familières, notamment la bibliographie internationale. Dans l'élaboration de la connaissance, elles correspondent à une étape de présynthèse qui valorise leurs travaux. Elles suscitent une dynamique collective motivante, avec un appui institutionnel plutôt efficace. Enfin, elles répondent à un besoin d'ouverture sociale : en dialoguant avec les responsables et les agents des services ministériels, les chercheurs découvrent que beaucoup de ces derniers, loin de se comporter comme des administratifs inertes, sont de véritables partenaires. Toute médaille a son revers, et l'engagement dans l'action publique a pour l'agronome-chercheur des inconvénients que n'a pas le partenariat avec le développement : exposition à l'accusation de compromission de la part des ONG contestataires, dévoiement de l'agronomie systémique dans l'élaboration de normes rigides, approximations liées aux contraintes d'exhaustivité, lenteur et lourdeur administratives, voire inconstance des orientations politiques qui freinent les actions ou dénaturent leur sens. *In fine*, le partenariat avec les pouvoirs publics constitue bien une forme spécifique qui complète la panoplie, mais ne se substitue pas au lien recherche-développement, car elle ne suscite pas le même type d'interaction entre chercheur et praticien, ni la même confrontation entre savoirs issus de la recherche et savoirs issus de l'action.

⏩ Conclusion

Considérée sur la longue durée, l'histoire de la recherche en agronomie et de l'agronomie dans le dispositif de recherche français peut sembler bien erratique, marquée par une alternance de phases d'expansion et de repli, de créativité et de stagnation épistémologique, de scissions et de recompositions organisationnelles. Mais la complexité de cette trajectoire ne doit pas faire perdre de vue l'enseignement principal de notre analyse historique : un spectaculaire élargissement du «territoire thématique» de la

recherche en agronomie depuis le temps de la maîtrise de la fertilisation des grandes cultures. Quels que soient les critères pris en compte – quantité et qualité de la production académique, diversité des objets d'étude et des échelles d'appréhension, puissance et sophistication des méthodes et outils de recherche, impact technologique, environnemental ou sociétal, diversité et intensité des relations avec les autres disciplines –, les avancées réalisées en trois quarts de siècle – c'est-à-dire peu de temps à l'aune de l'histoire des sciences – sont considérables. Au cours des deux dernières décennies notamment, les travaux de recherche en agronomie ont pris une ampleur et un degré de généricité inédits. Légitimation des interventions culturales en tant qu'objet d'étude écologique, capacité à articuler les différents maillons de la chaîne qui va des processus décisionnels de l'agriculteur jusqu'aux impacts environnementaux de la production végétale, pertinence et efficacité des concepts de système de culture et d'itinéraire technique pour structurer l'appréhension des agroécosystèmes à différentes échelles sont des acquis fondamentaux, réutilisables par toute autre discipline, et *a fortiori* dans le cadre d'approches transdisciplinaires.

Ce parcours remarquable n'a pas été aisé pour les femmes et les hommes qui l'ont réalisé. Il s'est accompli sous l'influence de facteurs parfois contradictoires :
– protection, contrainte ou instabilité institutionnelles ;
– pression des enjeux économiques, puis sociétaux, et prise en compte de nouvelles finalités comme l'environnement, la biodiversité, la santé ;
– interactions avec d'autres disciplines, tantôt dans une logique d'émulation et tantôt par rapprochement ;
– importation et assimilation de nouvelles ressources méthodologiques, au premier rang desquelles les apports de la révolution informatique et numérique ;
– évolution des critères et modalités d'évaluation de la recherche, et notamment de la science finalisée ;
– transformation et renouvellement des partenariats d'application ;
– sans oublier les dynamiques endogènes qui, à partir d'une perspective d'application étroite, ont poussé les agronomes vers une vision de plus en plus intégrée, ouverte et réflexive, du fonctionnement et de la gestion des agroécosystèmes.

La recherche en agronomie a été mise en œuvre dans des cadres institutionnels étonnamment divers, qui selon les périodes ont été plus ou moins favorables à l'affirmation de l'agronomie en tant que discipline, et plus ou moins propices à une interaction stimulante – et non asservissante – avec la pratique agricole. Ces contextes institutionnels évolutifs et parfois déphasés entre la métropole et les Suds, de même que les modalités d'insertion de l'agronomie en leur sein, ont plus ou moins exposé ou soustrait les chercheurs aux influences, les unes fécondes, les autres paralysantes, d'une économie de la connaissance en accélération continue. Au regard du parcours retracé ici, l'un des traits les plus marquants de cette histoire est la convergence conceptuelle, thématique et méthodologique des travaux menés dans le cadre des institutions initialement dédiées à la métropole et à l'outre-mer, selon des approches qui au départ étaient radicalement divergentes. Il en ressort que ni la vitalité ni la reconnaissance scientifique ou sociale de l'agronomie ne sont strictement corrélées ou identifiées à une structure institutionnelle donnée qui en aurait constitué la « maison » de manière pérenne et légitime. Cela n'enlève rien à l'influence qu'ont eue sur son devenir les organismes qui ont hébergé la recherche en agronomie et la plus ou moins bonne compréhension que les chercheurs y ont rencontrée selon les périodes. Il s'en est parfois fallu de peu que

la recherche en agronomie ne disparaisse et ne se replie dans les instituts techniques sous contrôle de la profession et des filières. Nul doute que sa trajectoire thématique et méthodologique en aurait été radicalement modifiée.

En définitive, la diversité des appartenances et des situations institutionnelles, avec un ancrage persistant dans la recherche publique et dans les moyens de recherche des institutions d'enseignement supérieur, semble bien avoir été plutôt un atout qu'un handicap pour la recherche en agronomie. Cela tient non pas à de supposées vertus que pourrait revêtir la diversité des systèmes de recherche-développement, mais au moins en partie au discernement et à l'inventivité dont ont fait preuve les agronomes des différentes structures, et notamment quelques figures visionnaires et rassembleuses surgies à des moments-clés. Par leur autorité scientifique, leurs réseaux nationaux et internationaux aussi, elles sont parvenues à maintenir et constamment renouveler leurs interactions, et ainsi surmonter les dangers d'une fragmentation excessive qui aurait pu être tout aussi grave que la restriction des moyens.

Laborieusement formé et tardivement structuré comme une véritable communauté épistémique, le collectif des chercheurs en agronomie a ainsi pu construire par tâtonnements, essais et erreurs, un équilibre entre autonomie et hétéronomie, vis-à-vis aussi bien des autres disciplines que de la « demande sociale ». Par-delà les différenciations entre métropole et outre-mer et entre recherche publique et organismes professionnels, un schéma d'ensemble commun s'est ainsi dégagé à la fin du XXe siècle, dessinant une convergence vers une agronomie riche de subtiles différences méthodologiques ou de cultures de l'action, mais unifiée par des héritages et une représentation de la responsabilité de l'agronome largement partagés. L'acquis le plus significatif à cet égard est, pour la recherche en agronomie, de s'être approprié les enjeux environnementaux, en relevant les défis thématiques et méthodologiques, et on peut même dire les changements de paradigme que cela impliquait. La recherche publique a en la matière joué un rôle pionnier, entraînant à sa suite les autres composantes du système de recherche-développement et de formation agronomique.

Pour autant, ni cette convergence ni la reconnaissance des objets et concepts de l'agronomie, et pas davantage les incontestables succès obtenus en matière d'applications, ne se traduisent, de la part des chercheurs en agronomie, par une conscience généralisée et définitivement acquise de l'appartenance à une communauté disciplinaire spécifique. Moins avare de travaux de synthèse et de problématisation que dans le passé, la recherche en agronomie ne va pas jusqu'à structurer et formaliser l'agronomie en tant que discipline scientifique et technique à part entière. C'est déjà beaucoup qu'elle lui apporte des matériaux de plus en plus divers, élaborés et intégrés. En fin de compte, si la recherche fournit les connaissances qui « font » l'agronomie, c'est bien à l'épreuve de l'enseignement que ces connaissances se structurent et que l'agronomie acquiert son statut de discipline.

Rien ne dit que cette répartition des tâches et des responsabilités, propre à l'agronomie française, soit inscrite dans le marbre, ni d'ailleurs qu'elle doive en quoi que ce soit faire l'objet d'un jugement de valeur. C'est peut-être parce qu'elle s'affranchit de tout rôle de gardienne du temple que la recherche en agronomie est le mieux à même de jouer en toute liberté, mais également avec réflexivité et sens de ses responsabilités, celui d'exploration et d'ouverture de nouveaux espaces, notamment à l'heure de la transdisciplinarité et de la montée des grands enjeux planétaires. Dans le même temps, elle continue de s'impliquer encore plus intensément dans les interactions avec les autres

composantes du système de recherche-développement agronomique, et plus largement avec un éventail d'acteurs socio-économiques qui s'est récemment élargi aux pouvoirs publics nationaux et internationaux comme partenaires d'application. C'est à ce prix que la tension dialectique entre les dimensions scientifique et technologique de l'agronomie, s'exerçant au sein même de la recherche, continuera d'être non pas un facteur de repli, et finalement de blocage, mais une source de renouvellement de son heuristique et de ressourcement de son lien à l'agir.

Encadré 6.2. Dynamique des relations entre agriculture biologique et recherche agronomique française : le cas de l'Inra

Stéphane Bellon

Les relations entre agriculture biologique (AB) et recherche ont fortement évolué au cours des cinquante dernières années, passant d'une indifférence complète de la part des institutions de recherche à l'émergence de programmes dédiés. Cette dynamique concerne plusieurs niveaux d'organisation : de dispositifs régionaux ou nationaux (GIS, UMT, etc.) à des réseaux européens, comme l'EraNet Core Organic[1]. Nous centrons cet encadré sur l'Inra, mais des agronomes du Cirad se sont également intéressés à l'AB (De Bon *et al.*, 2018).

Le développement des recherches sur l'AB à l'Inra suit celui de l'AB, comme en atteste une périodisation des grandes étapes d'évolution de l'AB et des approches scientifiques dont elle est l'objet depuis les années 1970.

■ L'AB comme alternative à l'intensification agricole (années 1970), puis comme « situation expérimentale » (années 1980)

Construite au début du XXe siècle par quelques fondateurs questionnant l'intervention de l'homme sur la nature et se situant entre spéculations philosophiques, observations empiriques et approches scientifiques (Besson, 2009), l'AB a été élaborée et mise en œuvre par des producteurs. Et la France était en position de leader dans l'Europe des années 1970. À cette époque, l'AB est la principale alternative observable aux pratiques dominantes; elle est aussi objet de controverses (ACTA, 1972) qui perdurent jusqu'aujourd'hui (Kirchman, 2021). Elle rencontre peu d'intérêt, quand ce n'est pas du rejet, de la part de la recherche. Dans ce contexte, le travail coordonné par la chaire d'agriculture de l'INA P-G qui considère l'AB comme objet d'étude légitime pour l'agronome, comme pratique à étudier et non pas comme doctrine à réfuter (Berthou *et al.*, 1972), est véritablement pionnier. Dans la préface de ce rapport, M. Sebillotte en justifie l'intérêt pour « étudier des situations agricoles nouvelles et, en les comparant à d'autres plus connues, enrichir éventuellement la palette des combinaisons déjà recensées des différents facteurs techniques de la production, en un mot accroître le nombre d'itinéraires techniques »[2]. À cette époque, les agronomes s'intéressant à l'AB l'ont souvent fait en marge ou hors de leur institution, en allant sur le terrain (Gautronneau *et al.*, 1981). Ce faisant, ils se sont dans une certaine mesure coupés des dynamiques à l'œuvre au sein même des institutions : c'est le cas en agronomie, où l'effervescence de la discipline dans les décennies 1970-1980 s'est peu enrichie de l'apport de ces approches individuelles de l'AB – et en retour a peu été utile à l'AB.

Comme dans d'autres pays (Ollivier *et al.*, 2011), les premiers travaux académiques français ont privilégié ses pratiques, ses performances productives et sa reproductibilité (Bellon et Tranchant, 1981), ainsi que sa capacité à répondre à des enjeux

d'autonomie énergétique ou protéique (Viel, 1979). Une approche « productionniste » en somme, notamment dans le domaine de la production végétale, dans le but explicite d'évaluer l'AB. La question des motivations et des valeurs afférentes à la conversion est cependant récurrente dans plusieurs travaux (Barrès *et al.*, 1985). En parallèle des incursions de la recherche dans les registres techniques, les recherches ayant l'AB pour objet principal se sont aussi développées dans le domaine socio-économique (Cadiou *et al.*, 1975 ; Bonny et Le Pape, 1983). Elles vont ensuite s'insérer dans des programmes consacrés aux modèles de développement alternatifs (Le Pape et Rémy, 1988). À partir de 1983 se déploient des études économiques de la consommation et des filières de produits biologiques (par exemple, Sylvander et Mougin, 1986).

À partir de ces jalons et de la reconnaissance nationale de l'AB en 1981, une réflexion est engagée à l'Inra, qui va impacter progressivement l'agronomie sans la révolutionner pour autant. Les propositions issues de ce travail (Girardin, 1990) concernent : un besoin d'investissement sur les pratiques promues par l'AB, en particulier en élevage ; et la mise en place d'expérimentations en grandes cultures avec une modalité « AB »[3]. L'AB est alors positionnée comme situation extrême dans un continuum d'agricultures (la production intégrée étant intermédiaire), ou comme modèle générique pour l'étude des processus biologiques du sol. Dans ce sens, l'AB a permis d'élargir la gamme des systèmes et donc des situations observées, comme le fait au même moment l'essor de la simplification du travail du sol. Les cadres théoriques de l'agronomie et ses outils ne sont pas remis en cause, mais ils s'appliquent à des situations et à des pratiques plus diverses. Sans être les seules, ces situations et ces pratiques agissent comme des révélateurs, et *in fine* comme des motifs, voire des justifications de nouveaux centres d'intérêt pour l'agronomie : l'inclusion de la composante biologique du milieu dans la compréhension du fonctionnement du champ cultivé, ou encore le regain d'intérêt pour le raisonnement des successions de culture en sont des exemples.

En revanche, sur le plan méthodologique, il y a peu de nouveautés : des méthodes d'étude classiques sont appliquées à l'AB, en référence à un modèle « conventionnel », sans lien explicite avec ses acteurs professionnels, dont l'importance a progressivement crû (création en 1978 de la Fédération nationale de l'agriculture biologique, FNAB ; en 1979 du Groupement de recherche en agriculture biologique, GRAB ; et en 1982 de l'Institut technique de l'agriculture biologique, ITAB) en même temps que la place de l'AB. Ces organismes dédiés à l'AB ont soutenu et amplifié les essais faits par les agriculteurs eux-mêmes, tandis que la recherche académique considère l'AB comme situation expérimentale plutôt que modèle innovant.

■ Institutionnalisation de l'AB et spécialisation des systèmes bio (années 1990) puis développement d'un programme dédié (années 2000)

Cette période de reconnaissance de l'AB se caractérise par un premier règlement européen dédié (1992) dans un mouvement général d'écologisation de l'agriculture incarné par les mesures agro-environnementales (MAE). Le premier plan de développement national (PPDAB) est formalisé en 1999 et l'AB s'étend sur un marché « de masse ». Les fermes en AB se spécialisent, s'éloignant du modèle polyculture-élevage des années 1970. Les premières expérimentations de l'Inra débutent en 1994 au domaine arboricole de Gotheron (Drôme), précédant l'engagement d'autres domaines expérimentaux et systèmes de production[4]. À ce jour, quatorze unités ou installations expérimentales sont certifiées AB ou en conversion vers l'AB, soit un doublement par rapport à 2009. Trois d'entre elles sont totalement certifiées ou en

Encadré 6.2. Dynamique des relations entre agriculture biologique et recherche agronomique française : le cas de l'Inra (suite)

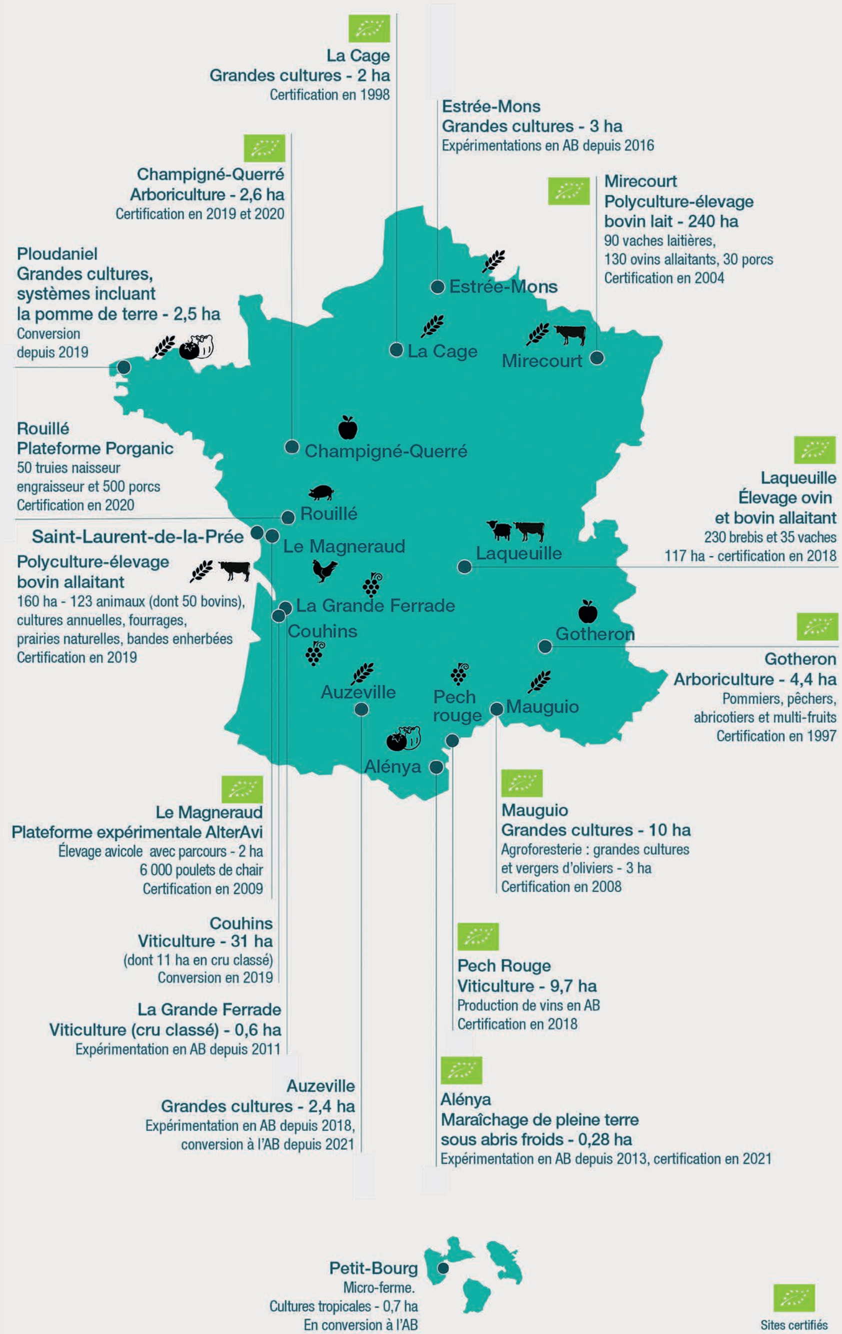


Figure 6.3. Sites expérimentaux INRAE certifiés AB ou respectant le cahier des charges AB, en 2021.

conversion totale, en particulier dans le département SAD (Cornu, 2021), et trois autres sont en conditions « AB » mais non certifiées. Les principaux systèmes de production sont représentés (figure 6.3).

La stratégie de recherche élaborée par l'Inra (Bellon *et al.*, 2000) reprend la notion de prototype[5] proposée dans le PPDAB. Portée par un collectif interdisciplinaire, elle s'accompagne d'un programme dédié (« AgriBio ») pour soutenir des projets dans trois domaines de recherche : la compréhension et la maîtrise des processus biotechniques, l'étude du fonctionnement des systèmes de production en AB et la connaissance de ses conditions de développement socio-économique. Une cinquantaine de projets ont été financés, avec une forte contribution de l'agronomie. Plusieurs ont porté sur les verrous techniques à lever, parfois exacerbés par des évolutions réglementaires. Les connaissances produites résultent de partenariats élargis, impliquant plusieurs équipes et des professionnels[6]. Les méthodes d'étude ont également évolué, accompagnant l'évolution générale en agronomie : mise en place et développement d'essais-systèmes, études spécifiques à l'AB plutôt qu'en référence au conventionnel. Créé en 2008, le Conseil scientifique de l'agriculture biologique (CSAB) a élargi ce dispositif et défini des priorités de recherche pour le développement de l'AB (Meynard et Cresson, 2011). Cette période correspond à un moment où les systèmes pratiqués par les agriculteurs se diversifient considérablement. Système soutenu par des normes, l'AB a pris une place spécifique dans les institutions. Pour l'agronomie néanmoins, elle fait de plus en plus partie d'un univers élargi, où la gamme des pratiques et des situations est très étendue, et où sa singularité n'est pas particulièrement dominante, même si elle est source d'inspiration (à travers notamment ses pratiques qui essaiment dans la conception de systèmes non biologiques, comme le désherbage mécanique). Alors qu'il existe un programme sur l'AB à l'Inra, il n'existe pas d'« agronomie biologique » (Calame, 2007).

■ Identité de l'AB et interactions avec d'autres agricultures : le nouveau tournant des années 2010

Dans un mouvement général d'écologisation de l'agriculture, la question de la spécificité des recherches en AB reste posée. Ainsi, l'agroécologie est parfois présentée comme englobant l'AB, ce qui implique un travail de démarcation ou de convergence entre l'AB et différentes conceptions plus ou moins radicales de l'agroécologie. La coexistence de l'AB avec les autres formes d'agricultures fait également l'objet de nouvelles problématiques sur les interdépendances entre systèmes de production, sur la santé des agroécosystèmes ou sur l'impact d'un changement d'échelle de l'AB. Depuis 2019, ce dernier thème fait l'objet d'un programme dédié à l'Inra (Metabio[7]), explorant l'hypothèse où l'offre nationale de produits bio deviendrait majoritaire, dans un contexte de forte demande et de transition agroécologique. Le nouveau pacte vert européen partage cette ambition et fixe un objectif de 25 % de surfaces agricoles bio dans l'Union européenne en 2030.

En conclusion, partant de chercheurs pionniers, les recherches en AB se sont institutionnalisées. Dans ce mouvement, les travaux de recherche entrepris devaient à la fois compenser un certain retard et répondre à la diversité des acteurs et des modèles de développement de l'AB. L'AB stimule l'innovation et apporte des éléments de réponse à des enjeux agricoles dont elle se saisit : préservation de la biodiversité, changement climatique, qualité des aliments et de l'eau. Elle participe ainsi à l'amélioration des performances plurielles de l'agriculture.

Encadré 6.2. Dynamique des relations entre agriculture biologique et recherche agronomique française : le cas de l'Inra (suite)

Symétriquement, l'AB s'inspire aussi d'innovations issues ou traduites d'autres formes d'agriculture et de recherches génériques. En ce sens, son dynamisme et sa capacité à créer, à moissonner et à intégrer de nouvelles connaissances affirment son rôle de prototype, contribuant à l'orientation de futurs plans de développement et de programmes de recherche.

1. https://www.coreorganic.org/. Ce réseau a permis le financement d'une soixantaine de projets transnationaux depuis 2004.

2. C'est donc à propos de l'AB qu'est esquissée ici une définition de l'« itinéraire technique », antérieure à celle de l'article princeps (Sebillotte, 1974).

3. De multiples données sur les propriétés du sol, la protection des cultures et la production ont été obtenues grâce à l'essai DOC (biodynamique, biologique et conventionnel) de l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), comparant depuis 1978 une rotation de cultures sous différents régimes de fumure et de protection contre les ravageurs (Watson *et al.*, 2008).

4. https://www6.inrae.fr/metabio/Lieux-d-echange/Les-sites-experimentaux

5. Elle permet de situer l'AB dans sa diversité et de la relier à d'autres agricultures, de rendre compte de ses dynamiques et de mieux caractériser ses performances ou ses propriétés.

6. Depuis 2015, l'Inra est la première institution publiant sur l'AB au niveau mondial (selon le Web of Science).

7. https://www6.inrae.fr/metabio

⏩ Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Classées chronologiquement, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Serres O. de, 1600. *« Le Théâtre d'agriculture et Mesnage des champs », dans lequel est représenté tout ce qui est requis et nécessaire pour bien dresser, gouverner, enrichir et embellir, la Maison Rustique*. Ed. Thesaurus, Introduction de Pierre Lieutaghi, Actes Sud, 1996, 1545 p.

Heuzé G., 1862. *Les Assolements et les systèmes de culture*. Hachette, Paris, 534 p.

Hénin S., 1944. Sur la méthode en agronomie. Thèse de doctorat d'université, Faculté des lettres de Paris. *In :* Hénin S., 2016, *De la méthode en agronomie*. L'Harmattan, Paris, 21-141.

Bastisse E.M., 1953. Dix-huit années d'études lysimétriques appliquées à l'agronomie (1er, 2e et 3e mémoires). *Annales agronomiques*, (6), 55 p.

Barbier G., Lesaint M., Tyszkiewicz E., 1954. Recherches au moyen d'isotopes sur les phénomènes d'autodiffusion dans le sol et sur l'alimentation des plantes. *Annales agronomiques*, 923-959.

Demolon A., 1956. *Principes d'agronomie. Tome II. Croissance des végétaux cultivés, 5e édition*. Dunod, Paris, 576 p.

Hénin S., Féodoroff A., Gras R., Monnier G., 1960. *Le Profil cultural. Principes de physique du sol*. Société d'Éditions des ingénieurs agricoles, Paris, 320 p.

Robelin M., 1962. Évaporation réelle de différents couverts végétaux bien alimentés en eau et évapotranspiration potentielle. Détermination expérimentale. *Annales agronomiques*, 13 (6), 493-520.

Inra (collectif), 1964. *L'Eau et la production végétale*. Inra Éditions, Paris, 455 p.

Hénin S., 1967. Les acquisitions techniques en production végétale et leurs applications. *Économie rurale*, 74, 31-44.

Hébert J., 1969. La fumure azotée du blé. *Bulletin technique d'information*, 244, 755-766.

Monnier G., 1970. Les objectifs des techniques culturales. Problèmes posés par leur choix et l'appréciation de leur action. *In* : *Compte-rendu du colloque Herbicides et techniques de culture*, Versailles 1969, FNGPC-COLUMA, Paris, 39-57.

Prats J., 1970. *La Fertilisation raisonnée, 2e édition*. Ministère de l'Agriculture, Paris, 93 p.

Sebillotte M., 1970. Les modifications des assolements et rotations liées à l'emploi des herbicides. *In* : *Compte-rendu du colloque Herbicides et techniques de culture*, Versailles 1969, FNGPC-Columa, Paris, 235-289.

Gachon L. (ed.), 1974b. La fertilisation raisonnée. *Fermes modernes*, (23), 154 p.

Sebillotte M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers de l'Orstom, série Biologie*, 24, 3-25.

Manichon H., Sebillotte M., 1975. Analyse et prévision des conséquences des passages successifs d'outils sur le profil cultural. *Bulletin technique d'information*, 302-303, 569-577.

Sebillotte M., 1978b. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture*, 64, 906-014.

Hénin S., 1980a. Rapport du groupe de travail Activités agricoles et qualité des eaux. Ministère de l'Agriculture, ministère de l'Environnement, Paris.

Lemaire G., 1985. Cinétique de croissance d'un peuplement de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* SCHREB.) pendant l'hiver et le printemps. Effet des facteurs climatiques. Thèse de doctorat d'État, université de Caen, 96 p.

Meynard J.-M., 1985. Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse INA P-G, 258 p. + annexes.

Perrier A., Picard D., 1989. Charte d'écophysiologie végétale. Inra, 16 p.

Combe L., Picard D. (coord.), 1990. *Les Systèmes de culture*. Inra Éditions, Versailles, 196 p.

Boiffin J., Lemaire G., 1992. Thématique, structures et insertion du département d'Agronomie au sein du secteur Environnement Physique et Agronomie. Éléments d'orientation, Ronéo, 32 p.

Collectif, 1993. *Département d'Agronomie. Schéma directeur : 1993-1997*. Ronéoté, Inra, Paris.

Combe L., Picard D. (coord.), 1994. *Élaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Inra Éditions, Versailles, 191 p.

Lemaire G., Nicolardot B. (eds), 1997. *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*. Inra Éditions, Versailles, 333 p.

Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.-H., Ruget F., Gate P. *et al.*, 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I- Theory and parametrization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18, 311-346.

Bellon S., Gautronneau Y., Riba G., Savini I., Sylvander B., 2000. L'agriculture biologique et l'Inra – vers un programme de recherche. Inra, Paris, 25 p.

Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (eds), 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, Inra et Cemagref (France), 64 p.

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 43-62.

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (4), 503-515.

Brisson N., Levrault F. (coords), 2010. *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010)*. Ademe Éditions, Angers, 336 p.

Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude, Inra Éditions, 90 p.

Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Tittonell P., 2011b. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34 (4), 197-210. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006

Boiffin J., Benoît M., Le Bail M., Papy F., Stengel P., 2014. Agronomie, espace, territoire : travailler « pour et sur » le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie. *Cahiers Agricultures*, 23, 72-83. https://doi.org/10.1684/agr.2014.0688

Makowski D., Nesme T., Papy F. Doré T., 2014. Global agronomy, a new field of research. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 293-307. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0179-0

Volper S., Bichat H., 2014. Des jardins d'essais au Cirad : une épopée scientifique française. *Histoire de la recherche contemporaine*, III (2), 113-124. https://doi.org/10.4000/hrc.789

Chauvel B., Darmency H., Munier-Jolain N., Rodriguez A. (coords), 2018. *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. Éditions Quæ, Versailles, 350 p.

Cornu P., Valceschini E., Maeght-Bournay O., 2018. *L'Histoire de l'Inra, entre science et politique*. Éditions Quæ, Versailles, 463 p.

Lemaire G., De Faccio Carvalho P.C., Kronberg S., Recous S. (eds), 2019a. *Agroecosystem diversity. Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality*. Elsevier-Academic Press, London, 464 p.

Richard G., Stengel P., Lemaire G., Cellier P., Valceschini E. (coord.), 2019. *Une agronomie pour le XXIe siècle*. Éditions Quæ, Versailles, 304 p.

Collectif, 2020. Quel théâtre d'agriculture et ménage des champs aujourd'hui ? *Agronomie, environnement & sociétés*, 10 (2), 237 p.

Beillouin D., Ben-Ari T., Malézieux E., Seufert V., Makowski D., 2021. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology*, 27 (19), 4697-4710. https://doi.org/10.1111/gcb.15747

Cornu P., 2021. *La Systémique agraire à l'Inra. Histoire d'une dissidence*. Éditions Quæ, Versailles, 184 p.

Chapitre 7

Construction et déploiement de l'agronomie dans et par la formation

Thierry Doré, Jean-Jacques Gailleton, Philippe Prévost

Les premiers chapitres de cet ouvrage ont fait davantage que le suggérer : les activités d'enseignement ont joué un rôle déterminant dans la construction progressive de l'agronomie. Cela s'est réalisé non seulement à travers une contribution majeure à l'établissement d'un corpus conceptuel et méthodologique, mais aussi grâce à l'appropriation de ce corpus par des professionnels, qui en retour a nourri la structuration de l'enseignement d'agronomie dans les différents systèmes de formation. Les enseignants d'agronomie ont en effet favorisé la dynamique endogène de l'agronomie en cherchant à rapprocher la théorie et les processus et activités de production végétale, ce qui a permis le déploiement de la discipline grâce à l'opérationnalité de ses concepts et de ses méthodes. Bon nombre des concepts, méthodes, outils de l'agronomie présentés dans les deux premiers chapitres ont ainsi été construits dans des lieux d'enseignement, et singulièrement à l'Institut national agronomique (INA) puis à l'INA Paris-Grignon (P-G) : la première clé de lecture de ce chapitre concerne les ressorts de cette construction.

Cette construction de l'agronomie dans l'enseignement doit aussi être analysée au regard de la singularité du système d'enseignement dans lequel elle a été mobilisée. En effet, en France, les dispositifs de formation initiale où est enseignée l'agronomie, situés principalement, mais pas exclusivement, sous tutelle du ministère en charge de l'Agriculture, existent sous forme d'un « enseignement technique agricole », réalisé dans des établissements connus sous le nom de « lycées agricoles » ainsi que dans les « maisons familiales rurales », et d'un enseignement supérieur long, réalisé dans de « grandes écoles agronomiques ». Les deux systèmes de formation sont par ailleurs partie prenante de la formation permanente des professionnels. L'agronomie, ainsi enseignée depuis le collège agricole jusqu'à l'enseignement supérieur, est devenue, au fil du temps, identitaire de l'enseignement agricole.

Ce chapitre propose ainsi d'analyser, de manière rétrospective, la façon dont l'enseignement a contribué à la fabrique de l'agronomie, tant dans la construction conceptuelle et méthodologique que dans son académisation et son utilité sociale. La première partie de ce chapitre se propose d'analyser les concomitances entre développement

de la discipline et développement de son enseignement dans les écoles d'agronomie, et de tenter de repérer dans quelle mesure ce sont la préparation aux métiers d'agronomes et la nécessité à plusieurs moments de regrouper concepts et méthodes dans un ensemble disciplinaire qui ont poussé à la fabrique de l'agronomie dans des lieux d'enseignement. La seconde partie de ce chapitre présente une analyse de l'évolution de l'agronomie dans les formations, à partir de son déploiement dans les différents dispositifs d'enseignement secondaire et supérieur, en formation initiale et continue. Enfin, la troisième partie analyse comment la double dimension scientifique et technique de l'agronomie peut aujourd'hui représenter un atout pour un élargissement de la diffusion des concepts et des outils de l'agronomie, du fait de la diversification des métiers d'agronomes et du besoin de compréhension de ce qu'est l'action de cultiver chez tous les citoyens.

⏩ L'enseignement supérieur, creuset de la construction de l'agronomie

Dans l'enseignement supérieur, l'agronomie est dispensée principalement dans de grandes écoles, et non dans les universités. Cette originalité, qui prend ses racines au XIXe siècle, a été confirmée par des ensembles législatifs successivement juste après la Première Guerre mondiale, puis au début des années 1960.

Jusque dans les années 1960, l'enseignement dans les écoles publiques d'agronomie (à Grignon, Rennes, Montpellier), héritières d'écoles régionales d'agriculture créées en 1848, était conçu pour former « des chefs d'exploitations, propriétaires ou fermiers, moraux, capables et instruits »[1] (Boulet, 2018a). En parallèle existait depuis 1876 l'INA, établi à Paris, rue Claude-Bernard, depuis 1882, qui avait d'emblée été conçu comme une « école normale supérieure de l'enseignement agricole » destinée « à l'étude et à l'enseignement des sciences dans leur rapport avec l'agriculture » (Boulet, 2018b). Le lien à la science y était dès l'origine essentiel, et différenciait en cela la formation à l'INA de celle, plus pratique, des écoles d'agronomie qui allaient devenir les futures Écoles nationales supérieures agronomiques (ENSA). Entre les deux guerres, et suite notamment au dispositif législatif de 1918-1920, les missions des ENSA et de l'INA, les emplois des diplômés, et enfin les conditions matérielles de l'enseignement comme le niveau de recrutement tendent à s'homogénéiser (Boulet, 2018b). Après le début des années 1960, l'émergence de la politique agricole européenne ainsi que l'essor de l'industrie agroalimentaire modifient les enjeux liés à l'agriculture, en les internationalisant et en les ouvrant sur des débouchés différents. Les métiers auxquels les écoles doivent préparer évoluent en conséquence. Les lois dites « Pisani » traduisent la volonté d'accélération de la modernisation de l'agriculture française, passant par une transformation des structures, une insertion dans des circuits de commercialisation, un appui sur le progrès technique diminuant les besoins en main-d'œuvre. Sur le plan de l'enseignement, la loi du 2 août 1960 a un objectif de massification de formation des agriculteurs français, dont une proportion très faible suivait un enseignement spécialisé dans le système de formation agricole (Boulet, 1998), et de formation de l'ensemble des cadres permettant la modernisation.

1. Le comte de Gasparin, dans l'introduction à son *Cours d'agriculture* (1848), précisait qu'il était à l'attention de « jeunes propriétaires qui se destinaient à diriger et surveiller l'exploitation de leurs terres ».

Place des écoles d'ingénieurs et de l'INA P-G

C'est dans ce contexte de volonté modernisatrice de l'agriculture que la formation scientifique des futurs ingénieurs des écoles agronomiques a pris une place prépondérante dans les cursus des écoles.

La formation d'ingénieur consistant à former des professionnels aptes à contribuer à la résolution de problèmes[2], elle porte sur un savoir et des compétences finalisés par l'action, et dans le cas des écoles agronomiques il s'agit de répondre aux différents enjeux posés à l'activité agricole. Ainsi, les questions de maintien de la fertilité, d'accroissement des rendements, de lutte contre les pollutions environnementales, d'adaptation aux changements climatiques, constituent quelques exemples significatifs d'enjeux successifs pour l'agronomie, pour lesquels la recherche, l'enseignement et le développement agricole sont mobilisés en vue d'un appui aux praticiens. Dès lors, il n'est pas étonnant que l'appareil conceptuel, méthodologique et instrumental de l'agronomie décrit dans les chapitres 1 et 2, construit justement pour aider à résoudre ce type de problème dans le domaine de l'agriculture, soit apparu majoritairement dans les écoles d'ingénieur de l'enseignement agronomique, à partir des années 1960.

Au-delà du constat de ce creuset qu'est la formation pour l'évolution d'une discipline finalisée, pour mieux saisir l'impact de l'enseignement de l'agronomie sur le développement de la discipline en France, il faut comprendre davantage les contenus et modalités pédagogiques utilisées, dont témoignent les documents d'enseignement. Comme évoqué dans le chapitre 1, un tournant s'est opéré entre 1960 et 1980 sur la caractérisation de ce qu'est l'agronomie comme discipline. Les documents utilisés par M. Sebillotte dans l'enseignement à l'INA P-G ont d'ailleurs été pris dans ce premier chapitre comme « témoins » de cette évolution. De fait, on ne trouve pas de document équivalent dans les autres établissements d'enseignement supérieur agronomique à cette époque, et la chaire d'agronomie de l'INA P-G a bien été de ce point de vue un lieu singulier. Cette singularité est sans aucun doute pour partie liée à la capacité de relier la théorisation des objets d'étude et l'opérationnalité des savoirs dans l'action chez les acteurs majeurs qu'ont été S. Hénin et M. Sebillotte. Elle trouve aussi pour partie son origine dans la place particulière qu'avait l'INA dans le système d'enseignement supérieur agricole depuis plus d'un siècle. Ainsi, si depuis le début des années 1960, les ENSA étaient considérées de manière similaire par les pouvoirs publics, l'histoire de l'INA lui donnait une spécificité en matière d'antériorité, et sans doute d'intensité des liens à la recherche et des objectifs de formation. Il est possible de s'appuyer sur les documents d'enseignement de la chaire d'agronomie de l'INA P-G, utilisés de la fin des années 1960 au début des années 1980, pour éclairer ce lien entre enseignement et construction de la discipline. La seconde partie de ce chapitre montrera comment l'orientation suivie à l'INA P-G s'est progressivement hybridée, ailleurs, avec celles issues des histoires des autres écoles.

2. La définition proposée en France par la Commission des titres d'ingénieur (CTI, 2020) est ainsi la suivante : « Le métier de l'ingénieur consiste à poser, étudier et résoudre de manière performante et innovante des problèmes souvent complexes de création, de conception, de réalisation, de mise en œuvre et de contrôle de produits, de systèmes ou de services – éventuellement leur financement et leur commercialisation – au sein d'une organisation le plus souvent compétitive. Il intègre les préoccupations de protection de l'homme, de la société et de ses valeurs, de la vie et de l'environnement, et plus généralement du bien-être collectif. »

Trois moteurs de la construction de l'agronomie par l'activité d'enseignement

Le premier de ces moteurs est l'orientation de l'enseignement vers l'action : à l'INA P-G comme dans les autres écoles d'agronomie, ce sont d'abord des ingénieurs que l'on forme, des femmes et des hommes amenés à intervenir dans les sphères professionnelles liées à l'agriculture. Et quand la finalité est de former des chercheurs, c'est avec le souci que cette recherche intègre, dans son objet, l'action même, en particulier celle de l'agriculteur. Dans son programme d'enseignement en 1977, Sebillotte donne les éléments suivants : « Parmi les agronomes [qu'il s'agit de former par l'enseignement de la chaire d'agronomie], on peut distinguer deux types principaux : d'un côté l'homme d'action, souvent au contact direct de l'agriculteur [...] ; de l'autre côté le chercheur, au sens large, dont le rôle essentiel, puisqu'il s'agit d'une discipline appliquée, est de contribuer à réduire l'empirisme des démarches de l'homme d'action, de l'agriculteur, de l'aménageur [...]. En fait, il existe toute une série de profils intermédiaires d'agronomes, et il serait dangereux d'opposer ces deux types d'activités qui doivent constamment s'appuyer l'une sur l'autre pour répondre efficacement aux interrogations nées de la pratique agricole. Les formations correspondantes seront donc assez voisines [...]. » Cette orientation vers l'action a amené au développement d'outils de diagnostic (pour comprendre l'origine d'une situation), mais aussi de pronostic et d'identification des modes d'action (pour être capable de participer à la décision, d'une manière ou d'une autre ; voir à ce sujet la diversité des postures de l'agronome dans le chapitre 2).

À ce titre, le document « Notice de stage – stage des étudiants rentrant en section agriculture » (Fleury *et al.*, 1971) peut être vu comme une annonce des besoins de méthodes pour l'agronomie. Il récapitule ce que les étudiants doivent accomplir pour se rendre capables de comprendre et porter un jugement à l'échelle de la station, de la parcelle, de l'exploitation agricole et de la petite région, dans une optique de « modifier ou entretenir le milieu, utiliser des végétaux adaptés ou les créer, élaborer des techniques d'exploitation adéquates » et, à l'échelle de la région, « dégager une vision globale des principaux problèmes techniques qui se posent ». Ce document était destiné à préparer l'étude régionale qui avait lieu en début d'année de spécialisation. De telles études régionales se sont déroulées chaque année dans les années 1970 ; elles ont été l'occasion de forger, de mettre à l'épreuve, les outils et concepts nécessaires pour rendre efficaces les travaux des étudiants, vus comme une anticipation des activités professionnelles qu'ils seraient amenés à réaliser. À cette époque, les étudiants sont incités à recueillir un très grand nombre de données, mais, si la vision systémique est omniprésente, on peut noter que la structuration conceptuelle permettant de rassembler le questionnement et de problématiser le recueil de données n'est pas présentée comme elle le sera dans le programme d'enseignement de M. Sebillotte de 1977. Au cours de la décennie 1970, l'exercice pédagogique a mûri, et la panoplie de concepts, méthodes et outils s'est suffisamment enrichie pour que l'exercice soit transposable à une unité d'enseignement de deuxième année du cursus d'ingénieur, en le limitant à l'échelle de l'exploitation agricole (« Méthode d'étude et jugement technique d'une exploitation agricole »). Les études régionales de troisième année dans la section Agronomie du cursus d'ingénieur se concentrent alors sur les questions régionales. On notera que les finalités de la formation évoluant en parallèle des métiers des agronomes, la fin des années 1980 et les années 1990 ont été le théâtre

de l'émergence de nouveaux concepts et outils, notamment ceux permettant de se confronter aux problématiques environnementales.

La deuxième caractéristique importante de l'enseignement ayant contribué à la construction de l'agronomie porte sur la confrontation des étudiants au terrain. Comme dans le domaine médical où la formation s'appuie sur une recherche clinique en relation avec les CHU, la confrontation des étudiants au terrain dans les écoles d'agronomie est un terreau fertile pour le développement de la discipline. Sur la base des nombreux écrits de Sebillotte relatifs à l'enseignement de l'agronomie, nous avons montré ailleurs (Doré, 2012a) combien c'était le cas dans l'enseignement de l'agronomie dans les années 1970 et 1980 à l'INA P-G (avec notamment un poids fort donné à l'observation), à une époque de forte rénovation de la discipline. Nous avons aussi décrit ailleurs (Doré, 2009) la décrue de cette confrontation au terrain, liée à l'accroissement des connaissances et des savoir-faire à transmettre, y compris dans le périmètre de la seule agronomie, en même temps qu'évoluaient (comme dans tous les établissements, Caneill *et al.*, 2001) les objectifs de formation dans le cursus et l'organisation pédagogique générale qui s'ensuivait. Bien après l'achèvement de la période 1970-1990, dans la partie de sa préface à *L'Agronomie aujourd'hui* consacrée à l'enseignement, Sebillotte (2006) revient ainsi sur les vertus de « l'observation » : « Il faut donc apprendre aux étudiants à voir et à exploiter ce qu'ils voient. La pratique du terrain est à privilégier dans ce domaine. […] C'est donc l'un des moyens pour l'agronome de forger les référentiels qui forment et structurent son expérience et de tester par l'action le bien-fondé de ses explications. » Pour apprendre aux étudiants à « voir », il faut leur donner des outils appropriés (le tour de plaine, le profil cultural, l'analyse des terrains, etc.), en élaborer certains là où ils manquent (l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole, l'analyse de l'élaboration du rendement, etc.), mais surtout leur donner une méthode : l'observation n'est fructueuse que si elle est soutenue par un questionnement et par une théorie (Sebillotte, 1971). La question de la valeur de l'observation en relation avec la problématisation va se retrouver au cœur de la construction de l'agronomie, avec un va-et-vient permanent entre l'élaboration d'un corpus théorique permettant de faire face à une diversité de situations et la mise à l'épreuve du terrain de ce corpus.

Enfin, la troisième caractéristique concerne la prise en charge de problèmes à résoudre à différents niveaux d'organisation, correspondant à différentes catégories d'action et d'acteurs, et à différents métiers mobilisant l'agronomie. Résumée sous la forme des trois « objets de l'agronome » (Sebillotte, 2006) – la parcelle, l'exploitation agricole, puis arrivé plus tardivement le territoire –, cette caractéristique a été un vecteur fort des relations de l'agronomie avec de nouvelles disciplines. Mais, conjuguée à la nécessité pour l'agronomie de se distinguer des disciplines sur lesquelles elle s'appuie, elle a aussi généré, face au risque de dispersion et d'émiettement disciplinaire, la nécessité de construire un discours d'unité et d'autonomie de la discipline, et d'apporter des justifications théoriques à ce discours. Cela a pu se traduire d'une manière simple par la mobilisation, à une échelle, des concepts et outils forgés à d'autres échelles, illustrant la cohérence d'ensemble. C'est le cas par exemple dans le document d'enseignement de Boiffin (1975) qui mobilise, pour « L'étude des terrains dans le cadre de l'étude des exploitations agricoles d'une petite région », les différents outils et concepts utilisés à l'échelle de la station ou de la parcelle pour caractériser le fonctionnement de sols agricoles – texture, battance, etc. – en s'attachant à développer une méthode de classification finalisée par l'analyse d'un problème régional.

La construction d'une vision unifiée de la discipline par la formation

Sur la base de ces moteurs se sont construits dans les années 1970 non seulement des connaissances, concepts, méthodes, approches, mais aussi une vision unifiée de la discipline rassemblant ces derniers. Il y a là une volonté de développer une capacité spécifique dans la formation des agronomes, exprimée par M. Sebillotte : « Il n'y a de science qu'"enseignable". [...] former des agronomes – et pas seulement des chercheurs – suppose, au-delà de la possession des concepts, des théories et des méthodes, de les rendre capables de problématiser (Andler, 1987), en agronome, une question qui se pose, donc de penser et agir en agronome » (Sebillotte, 2006). Et encore Sebillotte, en 1979 : « Par fonction, l'enseignement est un lieu de synthèse : c'est la théorie agronomique qu'il faut transmettre et non des résultats d'expérimentation ou des recettes culturales. »

Cette construction dans l'enseignement a pu s'appuyer à partir des années 1980 sur une légitimité donnée par la reconnaissance de l'agronomie dans la recherche, en particulier le levier qu'a pu constituer l'appropriation, par l'Inra, du discours issu de la chaire d'agronomie, et le développement des recherches qui se sont déroulées à la suite dans différents lieux – sans compter que les unités de recherche associées aux équipes d'enseignement fournissaient des données[3], des lieux de stage, des forces d'enseignement, indispensables pour la réussite de la formation. Ce « recours à l'Inra » constituait néanmoins un risque de mouvement centrifuge, contre lequel Sebillotte se prémunit en devenant directeur de deux unités de recherche, l'une au département d'Agronomie et l'une au département SAD de l'Inra, dont il justifie l'intrication par l'emboîtement des niveaux d'organisation (figure 7.1).

Et ce recours fut parfois un combat, comme en atteste la note produite en 1981 « L'agronomie, une discipline autonome ? » (Sebillotte, 1981), plaidoyer pour que les recrutements en agronomie soient bien réalisés en évaluant les compétences des candidats dans la discipline, et non dans des disciplines plus analytiques.

Cette fortification dans la recherche ne s'est pas faite au détriment du lien au monde professionnel. La formation en agronomie avait au contraire l'ambition de faire tenir ensemble les deux dimensions de la discipline, scientifique et ingénierique. Comme l'illustre la citation rapportée ci-dessus relative aux objectifs de formation d'hommes d'action et de chercheurs, chaque fois que dans les documents d'enseignement de la chaire d'agronomie les dipôles action/recherche, ingénierie/science, faits/méthodes, formation par/à la recherche sont évoqués, c'est aussitôt pour minimiser l'écart qui les sépare, et tendre vers l'unité. Cette unité est donnée par la formation : le jeune diplômé peut tout aussi bien être dans l'action que chercheur, car il aura acquis un capital de connaissances sur les faits, appuyé sur des théories et méthodes, qui sera mobilisable dans l'un et l'autre des métiers à travers des *raisonnements d'agronome*. Cette assertion renvoie à une vision de l'agronomie à la fois comme une ingénierie menée avec la rigueur d'une démarche scientifique, et comme une science menée avec le pragmatisme méthodologique et cognitif d'une résolution de problème. Pour illustrer cette

3. Ces données sont nécessaires entre autres pour construire des « exercices », ou des « problèmes » d'agronomie, utilisés notamment dans les examens, qui sont le témoignage de la volonté de transmettre un raisonnement en agronomie, et d'éprouver son acquisition. Un document de Papy (1979) recueille des énoncés de problèmes utilisés pour l'enseignement de l'agronomie à l'Institut Hassan II au Maroc, qui illustrent cet appui sur la recherche.

vision, citons l'exemple du stage de recherche de fin de cursus dans la formation des agronomes à l'INA P-G, introduit à l'INA dès 1963. Jusqu'au milieu des années 1980, il ne pouvait être question de l'effectuer hors d'une équipe de recherche, et si possible au sein d'une des équipes de la chaire d'agronomie. Seul ou, mieux, en petit groupe afin de favoriser le travail collectif, il s'agissait de mener de manière relativement autonome un raisonnement agronomique dans un cadre de recherche « valide ».

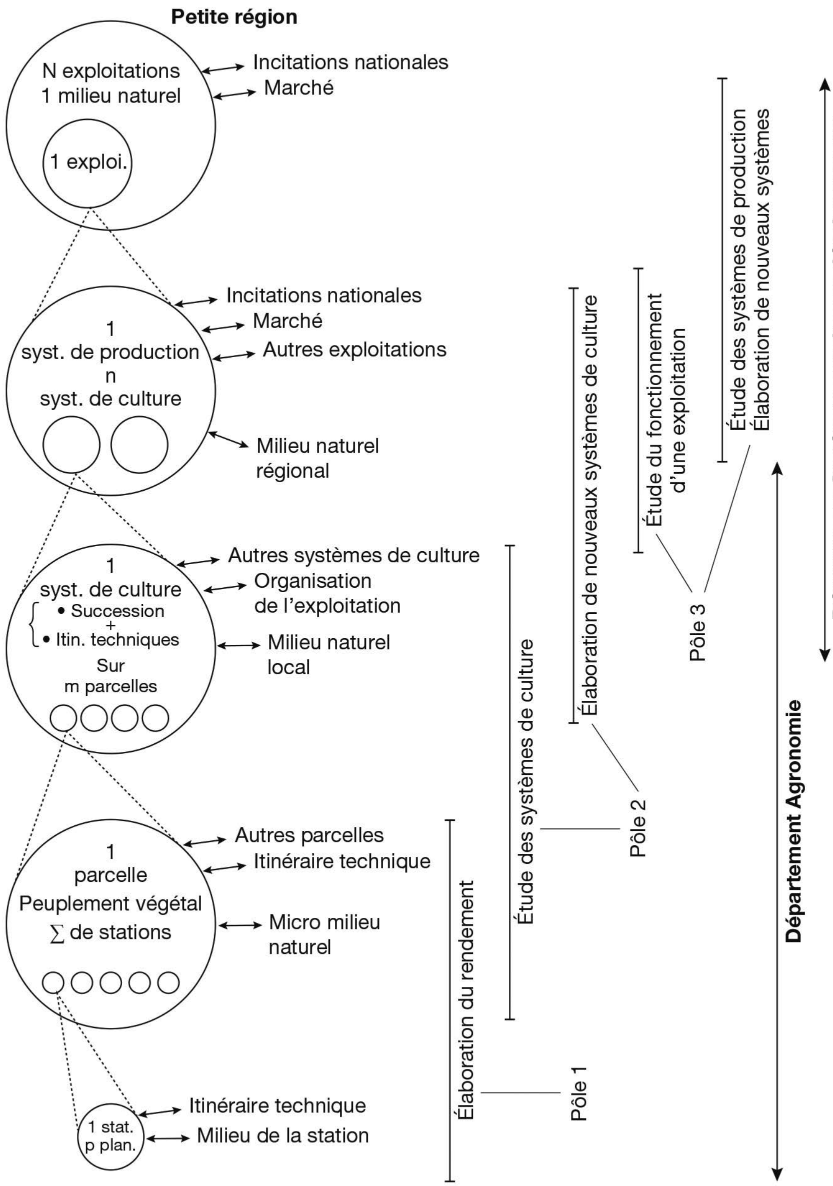


Figure 7.1. Emboîtement des objets de l'agronomie, thématiques de recherche afférentes pour les unités de recherche de l'Inra associées à la chaire d'agronomie de l'INA P-G, et positionnement dans les deux départements de l'Inra (Sebillotte, 1979).

Outre leur dimension formative essentielle, ces stages assuraient une force de travail captive pour accroître progressivement le contenu de la discipline en construction (ces stages étaient donc autant la marque d'une véritable recherche par la formation qu'une formation par la recherche). Ils assuraient également sa solidité grâce à la cohérence d'ensemble de l'édifice formation/recherche – l'écueil du clanisme étant évité par l'acceptation de la confrontation académique dans l'univers de la recherche, et le péril du dogmatisme doctrinaire, par la confrontation avec les secteurs d'embauche.

Encadré 7.1. Quel apport de la formation d'ingénieur pour les agricultures du Sud dans la construction de l'agronomie ?

Isabelle Michel, L'Institut Agro Montpellier, Institut des régions chaudes

■ Une histoire mouvementée inséparable de l'histoire coloniale française

Sur le plan institutionnel, la formation d'ingénieur pour les agricultures du Sud a été jusqu'en 2007 conçue comme une formation complémentaire d'application, destinée à des étudiants sortant d'écoles d'agronomie. Entre 1902, date de création de la première formation diplômante (ingénieur d'agriculture coloniale de l'École nationale supérieure d'agriculture coloniale à Nogent-sur-Marne) (Lasserre, 2020) et 2007, plusieurs réformes ont fait évoluer cette formation, en même temps que se transformait l'école d'application[1] :

– au sortir de la Première Guerre mondiale, la mise en valeur agricole des colonies par le développement des productions d'intérêt pour la France doit contribuer au relèvement économique du pays. Un nouveau diplôme d'ingénieur d'agronomie coloniale vient se rajouter au précédent, complétant l'enseignement des plantes tropicales de renforcements disciplinaires. L'objectif est en effet de former, en plus de techniciens développant des plantations, des cadres scientifiques pour mener des recherches et occuper des fonctions de direction, en articulation avec les stations expérimentales créées dans les colonies (Volper et Bichat, 2014) ;

– en 1946, la formation est réorganisée sur deux années pour délivrer un seul diplôme d'ingénieur d'agronomie tropicale qui distingue deux mentions : recherche[2] et production agricole. C'est le plein essor de l'agronomie tropicale vue comme une science appliquée spécifique et autonome (Kleiche, 1998 ; voir chapitre 6). L'objectif est de former des ingénieurs capables de moderniser les techniques de production agricole dans les colonies *via* le transfert des moyens d'action prônés pour l'agriculture métropolitaine. Jusqu'en 1981, malgré les Indépendances et la création d'institutions nationales de recherche et d'enseignement par les nouveaux États, la formation d'ingénieur d'agronomie tropicale se poursuit en métropole sans évolution majeure. En parallèle, cette période voit se développer des travaux de chercheurs tropicalistes, de géographes (Pélissier et Sautter, 1970), mais aussi de certains agronomes (Milleville, 1972), à la suite de pionniers tel R. Dumont (1935). Ceux-ci s'immergent dans les sociétés paysannes des anciennes colonies, montrant la richesse et la diversité de leurs savoirs et pratiques agricoles, dont la logique se comprend à des échelles autres que la parcelle de culture ;

– à partir de 1981, le changement politique en France encourage à rompre avec l'approche techniciste qui prévaut jusqu'alors. Pour le Cnearc, il s'agit dorénavant « de former des cadres [...] pour accompagner les dynamiques de développement dans les pays du Sud et plus généralement dans les régions en crise, en accordant une attention particulière à l'agriculture familiale et la lutte contre la pauvreté » (Jouve, 2002). L'enseignement est profondément remanié, tirant les leçons des

bilans réalisés qui montrent les limites des modes d'intervention dominants dans les pays du Sud (Benoit-Cattin, 1986), tout en s'inspirant des travaux des géographes et des agronomes sur les communautés agraires de ces pays. Si les spécificités du monde tropical nourrissent la formation, les éléments structurants sont méthodologiques. Dans des contextes aussi diversifiés que complexes, tant sur le plan biophysique qu'humain, il s'agit de former des agronomes de terrain capables de comprendre avant d'agir ; et, pour ce faire, d'articuler les outils des sciences techniques et sociales, traversant les échelles où les pratiques agricoles se décident, s'appliquent et s'évaluent[3]. Les démarches de diagnostic à l'échelle régionale sont développées en première année de l'ESAT, confortées par des apports en sciences du milieu, en économie du développement, en sciences sociales et en agronomie systémique (Bedu *et al.*, 1987). En deuxième année, des compétences techniques et sociales pour l'intervention sont données et se précisent au fil du temps, s'adaptant aux nouveaux acteurs du développement qui émergent dans les pays du Sud, au plus près de l'action locale, de manière à concevoir pour et avec les agriculteurs « des systèmes techniques de production agro-écologiquement adaptés et socio-économiquement appropriables » (Barbier et Jouve, 1998) (figure 7.2).

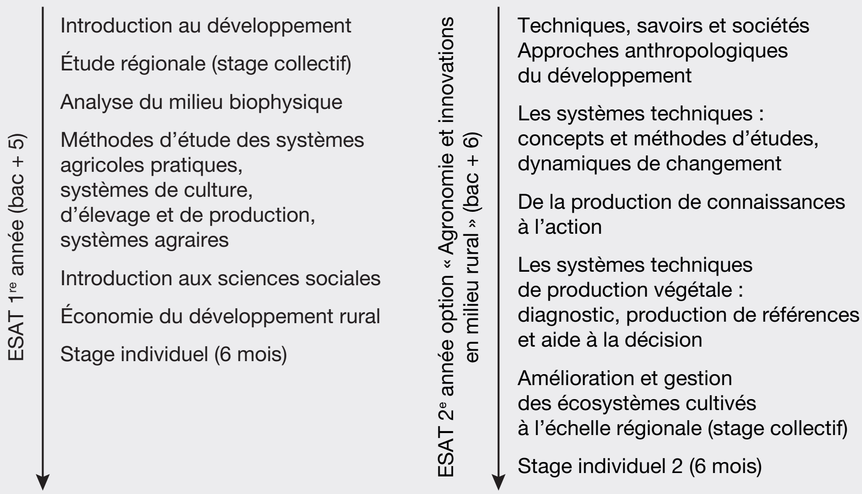


Figure 7.2. Architecture de la formation d'ingénieur d'agronomie tropicale en 1998 au Cnearc.

Depuis 2007, la formation d'ingénieur pour les agricultures du Sud n'est plus une formation d'application délivrant un diplôme à bac + 6 en 2 ans. En participant à la création en 2007 de Montpellier SupAgro à partir de l'ENSA de Montpellier, le Cnearc, devenu Institut des régions chaudes après fusion avec la Siarc[4], a mis fin à son cycle de formation d'application pour participer à la création d'un cycle d'ingénieur des Systèmes agricoles et agroalimentaires durables au Sud (Saads, démarré en 2009), qui comprend des enseignements partagés avec celui d'ingénieur agronome de l'établissement. Ce faisant, il est établi que la discipline agronomie s'est bien consolidée avec le temps, nourrie de différents apports dont ceux de l'agronomie tropicale.

Encadré 7.1. Quel apport de la formation d'ingénieur pour les agricultures du Sud dans la construction de l'agronomie ? (suite)

■ **Des contributions originales à l'agronomie**

Dans un premier temps, les enseignements d'agronomie tropicale ont participé à renforcer les concepts de la discipline en les mettant à l'épreuve de la grande diversité des cultures tropicales ; puis, au fur et à mesure que l'on s'y intéresse, à la grande diversité et complexité de systèmes agricoles paysans sous fortes contraintes environnementales, sociales et économiques. Le rôle-clé du travail et de son organisation sociale est démontré, relativisant la notion de rendement ; l'organisation spatiale des systèmes de culture, en lien avec le fonctionnement des milieux et la gestion sociale des ressources, est mise en avant ; parcelles, champs cultivés, exploitations agricoles, unités de production, territoires, terroirs et finages sont autant de notions qui sont clarifiées, reprécisées. Quant aux démarches mises au point pour comprendre puis intervenir de façon participative auprès des communautés locales, articulant les échelles et les disciplines, elles contribuent dès le début des années 1990 au déploiement de la discipline. Cet enrichissement mutuel devrait se poursuivre au vu des enjeux actuels. Il est urgent de ne pas oublier toutes les connaissances acquises au fil du temps sur des systèmes agricoles complexes, montrant les savoirs agroécologiques autochtones de communautés agraires confrontées à des environnements contraignants et fragiles en ayant peu recours aux leviers de l'agrochimie.

1. L'École nationale supérieure d'agriculture coloniale (Ensac) a été remplacée en 1921 par l'Institut national d'agriculture coloniale (INAC, rebaptisé Institut national d'agronomie de la France d'outre-mer en 1938, période où enseignement et recherche étaient réunis au sein du même institut) ; pour redevenir École supérieure d'application d'agriculture tropicale en 1939 (Esaat) ; puis elle est intégrée au Centre national d'études d'agronomie tropicale, créé en 1963 (sous la tutelle du ministère chargé de l'Agriculture), où elle devient ESAT (École supérieure d'agronomie tropicale) ; pour enfin déménager à Montpellier en 1981, le Cneat devenant Cnearc (Centre national d'études agronomiques des régions chaudes).

2. La section recherche est assurée par l'Orstom (futur IRD), qui délivre un enseignement organisé par discipline (Kleiche, 1998).

3. Fait remarquable, en 1995 le Cnearc recrute un enseignant-chercheur en anthropologie (titularisé en 2001), à côté d'agronomes (pour la plupart issus de l'INA et de l'INA-PG), de pédologues et d'économistes.

4. Section des ingénieurs agroalimentaires pour les régions chaudes, créée en 1977 par l'Ensia de Massy et basée à Montpellier.

⏩ Le déploiement de l'agronomie dans la formation, une histoire en mouvement

Tout ce travail de théorisation et d'unification disciplinaire a eu d'autant plus d'impact qu'il a été mené en même temps que s'est développé en France un système d'enseignement agricole puissant pour accompagner le développement de la production agricole, favorisant la diffusion de l'agronomie dans toutes les formations en lien avec l'activité agricole. La période étudiée dans cet ouvrage a ainsi vu naître l'agronomie en tant que discipline d'enseignement, avec son corpus conceptuel et méthodologique original. Mais, compte tenu de sa relation à la recherche et à l'action professionnelle, cette discipline d'enseignement a également connu pendant cette période des évolutions qui tiennent au contexte institutionnel. Sur la période étudiée, nous pouvons identifier quatre phases – partiellement chevauchantes – dans l'enseignement de l'agronomie :

– avant 1970 : la période étant celle du volontarisme politique et professionnel pour l'augmentation du volume de production agricole par la diffusion du progrès technique, elle exige la formation d'ingénieurs et de techniciens qui diffuseront les techniques issues de la chimie, de l'amélioration des plantes, de la pédologie, du machinisme, et se traduisant en pratiques agricoles normées diffusées par la phytotechnie (l'agronomie est alors majoritairement comprise comme le sens large des sciences de l'agriculture). L'agronomie, au sens actuel de la discipline d'enseignement, n'est pas encore vraiment affirmée ;
– de 1970 à 1990 : cette période est caractérisée par une double dynamique, celle endogène à l'agronomie, décrite dans la première partie de l'ouvrage, s'affirmant progressivement comme la science de la production végétale en proposant progressivement son corpus conceptuel et méthodologique, et celle des politiques publiques, sous tension entre la poursuite du développement d'un modèle productiviste agricole et les enjeux sociétaux[4]. C'est la période de structuration d'un enseignement d'agronomie dans sa double dimension scientifique et technique, avec un déploiement progressif dans l'enseignement supérieur, puis, beaucoup plus lentement et seulement de manière expérimentale, dans l'enseignement technique et la formation continue des agriculteurs, et de fortes innovations dans la formation continue des conseillers agricoles ;
– de 1990 à 2010 : cette période est celle du déploiement généralisé et de l'académisation de la discipline agronomie dans le système d'enseignement, y compris technique. Le contexte agricole de cette période renforçant le besoin d'ingénieurs et de techniciens capables de comprendre et d'agir au sein de situations agro-environnementales complexes, l'enseignement d'agronomie répond à ce besoin par son approche systémique et sa panoplie évolutive d'outils de diagnostic et de pronostic. Et c'est aussi la période où la reconnaissance académique arrive, avec la création d'un corps d'enseignants-chercheurs en agronomie dans l'enseignement supérieur et d'un corps de professeurs certifiés en agronomie-production végétale dans l'enseignement technique agricole ;
– depuis 2010 : c'est la période où différents enjeux sociétaux font émerger le paradigme de l'agroécologie, qui interroge l'agronomie dans l'enseignement supérieur, à la fois dans les contenus d'enseignement et les contours de la discipline.

Avant 1970 : la phytotechnie est la science de la production végétale

Les lois d'orientation agricole des années 1960 ont transformé le système de formation agricole pour répondre à l'enjeu de formation massive des agriculteurs et de leur encadrement :
– dans l'enseignement supérieur, la création de nouvelles écoles d'ingénieur, publiques et privées[5], et la reconnaissance de toutes les écoles à délivrer le titre d'ingénieur affirment la priorité donnée à un modèle diffusionniste des savoirs scientifiques et techniques ;

4. Soulevés par la crise énergétique de 1973, voir en particulier le rapport Poly (1978) et le rapport Hénin (1980a).

5. Dans l'enseignement supérieur public sont créés les Enita (Écoles nationales d'ingénieurs de techniques agricoles) pour former des « ingénieurs d'application », destinés plus particulièrement aux groupements de vulgarisation et de progrès (CETA, centres de gestion, groupements divers), dont le développement rapide au cours de ces années est un aspect majeur de l'évolution de l'agriculture française. Ces ingénieurs, travaillant en liaison avec les ingénieurs de conception (issus des ENSA) au service de la profession, rendront plus efficace l'action professionnelle. Dans l'enseignement supérieur privé, de nouvelles écoles sont créées, comme à Lyon (Isara) et à Lille (ISA).

– dans l'enseignement technique agricole, la couverture progressive de l'ensemble du territoire français par des lycées agricoles, publics et/ou privés, doit permettre à tout futur agriculteur de se former aux techniques modernes d'agriculture et à la gestion d'une exploitation agricole[6].

L'intensification de la production agricole étant la finalité de la formation technique, les contenus d'enseignement sont alors orientés vers les savoirs favorisant l'amélioration des rendements des productions végétales et animales. En production végétale, la construction conceptuelle et méthodologique de l'agronomie n'émergeant vraiment qu'à partir des années 1970 (comme vu dans la partie précédente, mais aussi dans les chapitres 1 et 4), c'est la période de l'enseignement de la phytotechnie. Dans l'enseignement supérieur, la phytotechnie, comme ensemble des techniques de la production végétale, est à la fois l'enseignement d'application des sciences du milieu adaptée aux conditions de l'activité agricole, et l'apprentissage du raisonnement des techniques de production. Cet enseignement est assuré au sein des chaires d'agriculture.

Dans l'enseignement professionnel scolaire, si le terme « agronomie » apparaît parfois dans quelques ouvrages anciens (Lasnier-Lachaize, 1945), c'est celui d'« agriculture » qui est généralement utilisé dans les instructions officielles jusqu'aux réformes de 1960 pour désigner les contenus liés aux productions végétales dans l'enseignement technique ou primaire. L'expression est polysémique, puisqu'on parle du professeur d'« agriculture » (sens d'activité permettant de tirer du sol des productions pour l'homme) chargé des cours d'« agriculture générale » (sens productions végétales), de génie rural et de zootechnie générale, mais aussi de « cultures spéciales » et de « zootechnie spéciale ». Le champ disciplinaire lié aux productions végétales a d'ailleurs longtemps été scindé en deux parties : d'un côté, « agriculture générale/agriculture spécialisée » (ou « cultures spéciales »), qui deviennent dans les années 1960 « phytotechnie générale/phytotechnie spéciale » ou parfois « agronomie/phytotechnie », traduisant une compartimentation entre d'un côté un volet scientifique, « considéré comme fondamental » et structuré autour de l'étude du sol, parfois du climat, des semences, de la défense des cultures des assolements-rotations débouchant sur l'énoncé de lois, et, de l'autre, un volet considéré comme une application des « bases » à la conduite d'un grand nombre de cultures, généralement sous forme normative (Gailleton et Moronval, 2013).

L'investissement dans l'enseignement technique agricole à partir des années 1960 vise à donner « des connaissances générales économiques et techniques, tant pratiques que théoriques, en vue de former des techniciens et techniciennes aptes à assumer les responsabilités de chefs d'entreprise ou de cadres moyens des secteurs agricoles »[7]. Les décrets d'application des lois Pisani réorganisent en profondeur l'enseignement agricole selon un dispositif parallèle à celui de l'enseignement technique de l'Éducation nationale à deux niveaux :
– une formation courte, assurée principalement dans les collèges agricoles (transformation des « écoles pratiques » et des « écoles ménagères ») ou les centres d'apprentissage délivrant le brevet professionnel ;

6. Avant 1960, l'enseignement professionnel agricole reste très marginal, puisqu'on estime alors qu'à la sortie de la guerre plus de 90 % des agriculteurs, dont 83 % des moins de 25 ans, n'ont pas véritablement reçu de formation agricole (Boulet, 2015 ; Cohen-Clerget, 2017).
7. Direction générale de l'enseignement et de la recherche (DGER) du ministère en charge de l'Agriculture, programme du Brevet de technicien agricole à option (BTAO), 1970.

– une formation longue, assurée dans les lycées agricoles publics et les établissements privés équivalents aboutissant au BTA (Brevet de technicien agricole) et BTSA (Brevet de technicien supérieur agricole).

La plupart des agriculteurs qui s'installent sont alors formés par l'enseignement agricole initial ou en formation continue. Si les contenus liés aux productions végétales s'étoffent, avec une place accordée aux progrès techniques beaucoup plus conséquente qu'antérieurement (mécanisation, intrants), il n'y a pas de rupture dans l'approche disciplinaire des sciences techniques agricoles par rapport à la formation dispensée dans les écoles pratiques, avec un enseignement qui reste très analytique et de nature plutôt encyclopédique, toujours scindé entre théorie et pratique.

De 1970 à 1990 : l'agronomie s'affirme comme discipline d'enseignement

Pendant cette période, l'agronomie comme discipline d'enseignement des sciences de la production végétale s'affirme dans l'ensemble des formations agricoles, bénéficiant de la dynamique de production conceptuelle et méthodologique en cours. Cette affirmation est cependant menée à un rythme variable selon les systèmes de formation.

La formation d'ingénieur au cœur de la stratégie d'encadrement du développement de l'agriculture

La convergence progressive parmi les écoles agronomiques, qu'elles soient sous tutelle du ministère en charge de l'Agriculture ou du ministère en charge de l'Enseignement supérieur, quant aux objectifs de formation d'ingénieur, a été un facteur favorable pour asseoir la position de l'agronomie comme discipline d'enseignement (telle que décrite dans la première partie du chapitre) et son déploiement dans l'enseignement supérieur. En effet, le passage, dans les années 1970, d'une mission de formation d'agriculteurs de haut niveau et de cadres des métiers agricoles experts dans tous les secteurs de la production, à celle de formation par et pour la recherche d'ingénieurs de haut niveau aptes à travailler dans une diversité de contextes professionnels, pour des métiers variés en lien avec l'agriculture et progressivement d'autres champs d'activité, s'est progressivement généralisé dans tous les établissements. Présente dès la fondation de l'INA, cette mission a petit à petit été adoptée pour les ENSA et officiellement acquise (pour toutes les écoles, quel que soit leur ministère de tutelle) à partir des années 1960. Les écoles privées (ESA d'Angers, écoles de Beauvais et Purpan, Institut technique de pratique agricole, ITPA, École pratique coloniale) ont quant à elles longtemps gardé des missions plus mélangées, avec un souci plus poussé du contact avec le milieu agricole et des métiers d'application, ce qui a parfois rendu l'évolution de l'enseignement de l'agronomie – que l'on jugeait trop théorique – plus difficile, ou l'a ralenti. Jusqu'à cette période, en parallèle des écoles agronomiques publiques, ces écoles privées créées au XIXe ou au début du XXe siècle suivaient leurs propres trajectoires, peu influencées par les changements de politique publique, mais façonnées par la relation que pouvait entretenir leur obédience professionnelle ou confessionnelle avec les transformations du monde agricole et rural. Ces relations évoluèrent significativement à partir de la fin des années 1960. Ainsi par exemple à l'Esa d'Angers dans les années 1960, à l'époque où les jésuites pilotaient encore l'établissement : « L'identité de l'École fit face à deux

mouvements contrastés : d'un côté, son développement était favorisé par un groupe social soutenant la modernisation […]. Mais, de l'autre, l'idéologie de la modernisation affaiblissait la vision antilibérale et familiariste de l'institution » (Le Guen, 2018). Leur finalité majeure était à l'origine la formation d'agriculteurs propriétaires « d'élite » (l'ESA d'Angers délivrait de 1904 à 1954 un diplôme « d'ingénieur-agriculteur »), avant de former de manière massive les acteurs du développement à partir des années 1970.

Malgré cette convergence entre les écoles, l'émergence puis la transformation de l'enseignement de l'agronomie se sont produites par vagues, progressivement, et par la conjugaison de l'évolution des cursus d'ingénieur (conséquence de l'évolution des missions des établissements), de l'évolution des recrutements des enseignants-chercheurs (par un double effet de changement générationnel propre à chaque établissement et de modifications de leurs missions liées à des textes de loi), et enfin de la plus ou moins grande capacité à s'appuyer sur des laboratoires de recherche en agronomie de proximité. De ce point de vue, la possibilité de mener de manière conjointe avec les organismes de recherche (au premier rang desquels l'Inra) des recherches en agronomie est mal distribuée sur le territoire – les écoles privées étant d'une manière générale beaucoup moins servies de ce point de vue, et ayant dû souvent compter sur leurs seules forces ou sur des alliances universitaires restreignant singulièrement le périmètre des possibles, alors même que la mission de recherche de leurs enseignants est moins protégée statutairement que dans les écoles publiques. Les voies de cette transformation ont ainsi été variées. De manière très schématique, on peut distinguer cinq cheminements, d'ailleurs non indépendants les uns des autres, car il existe des échanges au sein de la communauté scientifique et pédagogique :
– la consolidation d'un enseignement scientifique sur le fonctionnement du peuplement végétal, nourri de liens étroits avec la physiologie végétale universitaire et l'amélioration des plantes, enseignement s'élargissant progressivement à d'autres dimensions de l'agronomie : c'est la dynamique à l'œuvre dès les années 1970 à l'Ensaia de Nancy, à partir des années 1980 à l'ENSA de Montpellier ;
– la création d'un enseignement d'agronomie trouvant nombre de ses racines dans des enseignements issus de sciences du milieu physique, fortement ancré dans la recherche, et construisant progressivement un corpus théorique autour du champ cultivé, du système de culture, de la décision technique en agriculture, à l'INA dans les années 1960 puis à l'INA P-G ;
– le passage d'un enseignement d'agriculture générale et/ou de phytotechnie, à forte composante descriptive (des espèces cultivées, des techniques culturales) et fondé sur la notion de « bonnes pratiques », plus ou moins associé à un enseignement de physiologie végétale, de phytopathologie et d'amélioration des plantes, à un enseignement d'agronomie orienté vers la compréhension de l'agroécosystème et son fonctionnement : c'est ce qui s'est passé par exemple à Grignon lors de la fusion avec l'INA, ou dans les années 1980 à l'ISA, ou plus tard encore (après 1990) à l'ENSA de Rennes et à l'Enssaa, à l'occasion de changements générationnels ;
– l'importation d'enseignements venant de l'INA P-G, soit par intervention directe de ses enseignants-chercheurs, soit par recrutement comme enseignants d'anciens élèves de l'INA P-G entretenant un lien étroit avec leur établissement d'origine (Esitpa et ISAB, Isara, Istom, ESA et, dans une certaine mesure, Enita de Bordeaux), la capacité propre à développer des programmes de recherche restant par ailleurs, au moins au départ, limitée dans ces établissements ;

– enfin, à Clermont-Ferrand, école plus récente, un enseignement d'agronomie d'emblée centré sur, d'une part, l'exploitation agricole, hérité de la transformation de l'Institut national de la montagne en Enita, et, d'autre part, sur le milieu physique, hérité d'une tradition d'enseignement venue des ouvrages de Duthil, et s'enrichissant progressivement au fur et à mesure de recrutements et de rapprochements avec la recherche.

L'élévation du niveau de formation des agriculteurs et des techniciens pour la modernisation de l'agriculture

Dans l'enseignement technique, il faut d'abord noter l'apparition d'un courant naturaliste dès les années 1970, avec l'introduction de l'écologie et la création du bac D', puis celle du BTSA « Protection de la nature » en 1971 à Neuvic, incluant le développement d'une activité pluridisciplinaire emblématique : l'étude du milieu (Marshall, 2008). Ce courant, porté par les enseignants de biologie, d'éducation physique et sportive, et d'éducation socioculturelle, va créer une disjonction persistante pendant plusieurs décennies entre des formations plus naturalistes, centrées sur l'étude des écosystèmes peu anthropisés, et des formations plus orientées sur les systèmes productifs agricoles, marquées par la forte demande dans le secteur des agrofournitures.

Dans ce second système de formation – majoritaire quantitativement en nombre de formations et d'élèves –, le déploiement de l'agronomie tel qu'observé dans l'enseignement supérieur est beaucoup plus lent. En prolongement de la période précédente, le raisonnement phytotechnique prédomine longtemps, avec une importance accordée à la mécanisation et à l'artificialisation des modes de production, et plus particulièrement aux actions de l'agriculteur sur la fertilité du milieu (BTSA Productions végétales, 1960[8]). Les programmes sont toujours structurés en chapitres et formulés sous la forme de contenus peu explicités et peu différenciés selon les niveaux de formation (BTAO Conduite de l'exploitation agricole, BTSA Productions végétales écrits en 1970). Ils accordent une place importante à l'étude du climat en agriculture, à la défense des cultures ou à l'amélioration des plantes ; la création du BTSA Protection des cultures en 1975 à Carcassonne est très emblématique de cette tendance. Si certains chapitres initient une approche un peu plus systémique de la discipline, l'approche reste très analytique, et l'étude de la parcelle cultivée comme objet d'étude n'est pas explicitement spécifiée. Les programmes restent découpés en général selon les années de formation en deux grandes parties :
– la phytotechnie générale ou agronomie, dans laquelle on aborde successivement l'étude du sol et du climat (la plante étant généralement en grande partie étudiée séparément en biologie végétale) et, de manière séparée et indépendante, les actions de l'agriculteur sur le milieu ;
– la phytotechnie spéciale, dans laquelle on traite en général en classe de terminale l'étude de différentes productions végétales (huit cultures en BTA, une dizaine en BTSA), pour lesquelles il est proposé un plan type d'étude : variétés, place dans la rotation, techniques culturales : préparation du sol, fertilisation minérale, semis-mise en place, travaux d'entretien dont désherbage chimique, techniques particulières,

8. Contrairement à l'enseignement supérieur, où les contenus d'enseignement sont décidés dans chacune des écoles, les formations de l'enseignement technique ont un référentiel national, discuté entre le monde professionnel, le monde académique et la tutelle ministérielle.

récolte-conservation-commercialisation (BTA). Il est clairement précisé en BTSA que cette étude ne doit pas être encyclopédique. En plus des cours et des travaux dirigés, il est prévu en BTAO CEA (Conduite de l'exploitation agricole) une liste de travaux pratiques à réaliser tout au long de l'année sur une exploitation faisant appel à l'exécution par l'élève, et pour lesquels une heure de rapport hebdomadaire est prévue.

Progressivement, les contenus liés aux productions végétales s'étoffent, avec une place accordée aux connaissances scientifiques (caractérisation et fonctionnement d'un sol notamment) et techniques actualisées, sans rupture complète dans l'approche disciplinaire, avec des démarches qui restent très phytotechniques, avec un traitement séparé des techniques et une base normative affirmant très souvent une liaison directe entre l'emploi d'une technique et les résultats. Concernant l'étude des cultures, les ouvrages sont organisés « comme une suite de recettes avec une "bonne" façon de cultiver chacune des productions végétales, sans tenir compte ni du précédent, ni du suivant cultural, ni des "états du milieu" tout au cours du cycle de végétation, ni des objectifs de l'agriculteur » (Bonneviale et Marshall, 2012). Il s'agit de former des « agriculteurs applicateurs » (Salembier, 2019). Parmi les ouvrages de référence des enseignants, on peut signaler les ouvrages de D. Soltner. D'une grande qualité pédagogique pour l'époque, avec une lecture à plusieurs niveaux et des schémas dont le caractère didactique facilite la compréhension d'un message scientifique ou technique, les ouvrages de Soltner[9] ont marqué l'enseignement de cette époque tout en forgeant une approche « phytotechnique ».

L'agronomie au service du renforcement des capacités des acteurs de l'agriculture

Cette période est également propice au développement de la formation continue des acteurs de l'agriculture. Dans la formation des agriculteurs, le déploiement de l'agronomie a concerné deux axes différents :
– la préparation à l'installation en agriculture : à partir de 1965, la création des CFPPA (Centres de formation professionnelle et de promotion agricole) d'un côté, et du BPA (Brevet professionnel agricole) de l'autre, organise le rôle essentiel que va prendre l'État dans la formation continue de la profession agricole dans les décennies suivantes, à savoir la qualification professionnelle à l'installation en agriculture (Chosson, 1997). Cette qualification, qui permet d'accéder à des soutiens publics (dotation à l'installation, prêts bonifiés, etc.), s'est caractérisée dans un premier temps par une formation en comptabilité-gestion, les connaissances agronomiques étant considérées comme apprises sur le tas dans le cadre du stage en exploitation agricole. Puis la création du BPA en 1968 a introduit des premiers contenus agronomiques, mais extrêmement limités puisque représentant un maximum de trois à quatre demi-journées pour aborder essentiellement quelques propriétés d'un sol (propriétés physiques liées à la texture et à la structure) et la fertilisation des cultures. Cet apport a ensuite été renforcé lors de la rénovation du diplôme en 1977, avec la distinction de trois certificats (agriculture, élevage, gestion). Le certificat

9. Voir https://soltner.fr/agronomie/ : dans la collection Agronomie, les trois tomes de *Bases de la production végétale (Le sol; Le climat; La plante)* et le tome *Les grandes productions végétales* sont réédités depuis 1972.

« agriculture » a ainsi permis d'élargir le périmètre des contenus agronomiques, avec des apports en phytotechnie générale (sol-climat principalement) et en phytotechnie spéciale (étude de trois cultures avec élaboration d'une fiche technique) (Savy *et al.*, 2020)[10] ;
– la diffusion-accompagnement au service de l'intensification des cultures : cette mission a été assurée conjointement entre les systèmes de formation agricole et de développement agricole (chapitre 8) et elle a surtout concerné la préoccupation de l'intensification de l'agriculture pendant la période 1970-1985, orientée par la « filière de progrès » dans une démarche diffusionniste recherche fondamentale-recherche appliquée-développement agricole. Les thématiques phares ont été à cette période les améliorations foncières, la mécanisation, le choix variétal et l'usage des intrants chimiques, qui toutes avaient un lien avec l'agronomie, mais dans la seule perspective de maximisation du rendement[11]. Il faudra attendre la période suivante, lorsque la question environnementale va émerger dans l'activité agricole, pour que les contenus d'agronomie systémique prennent de l'importance dans la formation continue des agriculteurs.

Dans la formation continue des conseillers agricoles, mais aussi des ingénieurs de la recherche-développement et des enseignants d'agronomie dans les lycées agricoles, la période a surtout été marquée par une volonté de renforcement des capacités en agronomie, à partir du début des années 1980, avec la mise en place de l'opération nationale Relance agronomique. Lancée au moment des États généraux du développement agricole de 1982, et résultant des débats sur le modèle d'agriculture, après la parution du rapport Poly (1978), cette opération est un des moments importants de diffusion des nouveaux savoirs agronomiques produits par la recherche et l'enseignement supérieur pendant les années 1970-1980. Cette opération, qui s'est étalée sur une quinzaine d'années, a visé à remettre l'agronomie au cœur du raisonnement des agriculteurs et des conseillers pour faciliter les évolutions nécessaires dans les approches du développement agricole et rural. Elle a comporté trois axes de travail :
– la promotion des analyses de terre, alors peu pratiquées en France ;
– la production de références agronomiques, avec l'établissement de programmes agronomiques régionaux pilotés par les chambres régionales d'agriculture, nouvellement créées ;
– l'amélioration de la formation, de l'appui technique et de l'encadrement en agronomie, avec la mise en place d'un cycle de formation supérieure agronomique destiné à un public d'ingénieurs travaillant dans le monde agricole et rural.

Ce cycle de formation, composé de sept semaines de formation (puis neuf semaines dans les derniers cycles de formation, tableau 7.1), a constitué une formation continue répondant à la volonté des institutions de sortir du seul modèle de conseil diffusionniste et au besoin de renforcement des capacités des conseillers pour répondre aux besoins des agriculteurs. Il a pu s'appuyer sur le module de perfectionnement agronomique déjà présent dans le catalogue de formations réalisées dans le centre de l'APCA à Trie-Château depuis les années 1970 (Brunier, 2018).

10. Savy H., Barutaud J.P., Asdrubal M. Évolution de la place de l'agronomie dans la formation professionnelle continue agricole. Interview réalisée le 26 février 2020.
11. À partir des contributions de François Kockmann, Gérard Cattin, Jean-Luc Fort et Bertrand Omon, agronomes du développement.

Tableau 7.1. Thématiques des sessions du cycle de formation Relance agronomique (d'après Leclercq *et al.*, 2013).

N° session	Thématique de formation
1	Fonctionnement des peuplements végétaux et élaboration du rendement
2	Milieu, caractérisation et transformation par les techniques Concept d'aptitude culturale
3	Système de culture – Diagnostic au champ
4	Approche globale de l'exploitation agricole
5	Typologies d'exploitation (avec terrain) – Diagnostic régional et collecte de références
6	Raisonnement de l'agriculteur et aide à la décision
7	Communication
8	Élaboration de solutions alternatives aux problèmes posés (8e et 9e cycles)
8bis	Gestion de la qualité des produits (à partir du 9e cycle)
9	Systèmes de production et environnement (à partir du 9e cycle)

Un travail d'analyse de l'impact de l'opération, en particulier le cycle de formation, a été mené par un groupe de l'Association française d'agronomie en 2011 (Leclercq *et al.*, 2013). Il montre que la Relance agronomique a permis l'acquisition, par un public de professionnels (190 conseillers et enseignants formés), des concepts, méthodes et outils de l'agronomie les plus récents de l'époque : potentialités, composantes et schéma d'élaboration du rendement, profil cultural, itinéraire technique et système de culture, fonctionnement et typologie d'exploitations, diagnostic régional, etc. Par ailleurs, le cycle de formation prévoyant un mémoire à partir de leur terrain professionnel, les stagiaires en formation ont pu aussi acquérir des méthodes de diagnostic et de pronostic, à différentes échelles, à partir d'observations de terrain et en intégrant les dimensions technique et économique (tableau 7.2). Selon les anciens stagiaires enquêtés, la confrontation des concepts et des outils de la recherche avec leur propre terrain a permis la production de références de nature originale pour l'époque, et cela a souvent initié de nouvelles démarches de conseil et de formation dans les organismes employeurs.

Tableau 7.2. Thèmes et méthodes mobilisés dans le mémoire (d'après inventaire des mémoires archivés et enquête).

<table>
<tr><th></th><th>Nombre de mémoires concernés</th><th>Niveau</th><th>Méthodes les plus fréquentes</th><th>Outils les plus fréquents</th></tr>
<tr><td>Potentialités du milieu et élaboration du rendement
Variabilité des rendements en fonction du milieu et des pratiques culturales</td><td>19</td><td>Parcelle</td><td>Suivi de parcelles ou
Suivi de parcelles + essais</td><td>Profil cultural
Mesures d'indice foliaire
Composantes du rendement</td></tr>
<tr><td>Déterminants des choix techniques</td><td>7</td><td>Exploitation</td><td rowspan="2">Enquête en exploitations</td><td rowspan="2">Outils d'analyse du fonctionnement des exploitations agricoles ou des choix des agriculteurs
Typologies</td></tr>
<tr><td>Diagnostic agronomique régional</td><td>11</td><td>Territoire</td></tr>
</table>

Cette formation a eu lieu pendant onze années (de 1983 à 1994), puis une formation sensiblement identique a pris le relais dans le cadre de l'Institut des techniques de l'ingénieur en agriculture, cofondé par le Conservatoire national des arts et métiers (CNAM), l'APCA et l'INA P-G. Cet institut sans murs délivrait une formation diplômante, pluridisciplinaire, dans laquelle la formation en agronomie était l'héritière de la Relance agronomique. Toutefois, le mémoire professionnel pouvait s'exercer dans un autre domaine que celui des productions végétales, et une partie des auditeurs n'avaient donc pas l'occasion de confronter leurs acquis théoriques en agronomie à des situations pratiques.

De 1990 à 2010 : l'« académisation » de l'enseignement de l'agronomie et l'élargissement de son périmètre

Si la période précédente est celle de la construction de la base conceptuelle et méthodologique de l'agronomie comme discipline d'enseignement, la période 1990-2010 est tout aussi importante, d'une part parce qu'elle correspond à la période d'élargissement du périmètre de l'agronomie, en particulier pour la prise en compte des enjeux environnementaux (chapitres 1 à 5), et d'autre part parce que de nouvelles réformes institutionnelles vont favoriser la reconnaissance de l'agronomie comme discipline académique. Là encore, les faits marquants de cette évolution se sont traduits différemment dans l'enseignement supérieur et l'enseignement technique.

Les écoles d'ingénieur agronome comme composante du système d'enseignement supérieur et de recherche

Dans l'enseignement supérieur agronomique, en forte interaction avec la politique mise en œuvre au ministère en charge de l'Enseignement supérieur, on assiste à une volonté d'intensification des liens entre formation et recherche à partir du milieu des années 1980. Comme souhaité lors des lois Pisani, les ENSA avaient pu à partir du milieu des années 1970 délivrer seules un diplôme de docteur-ingénieur, ce qui constituait une reconnaissance scientifique et des établissements, et des disciplines qui y étaient enseignées. Mais en 1984, le dispositif législatif concernant le doctorat en France est profondément transformé, avec la suppression des titres de docteur de troisième cycle, de docteur-ingénieur et de docteur d'État (dont les règles avaient été réformées en 1974), et l'unification sous la forme du titre simple de docteur (d'un établissement). Les diplômes de référence pour pouvoir postuler à un poste de maître de conférences ou à un poste de professeur deviennent respectivement le doctorat, et l'habilitation à diriger des recherches, créée à cette occasion. Le diplôme d'études approfondies (DEA) devient la préparation nécessaire pour s'inscrire en doctorat en vue de l'obtention du titre unique, l'arrêté du 5 juillet 1984 relatif aux écoles doctorales précisant que « les études doctorales comprennent : la préparation d'un diplôme d'études approfondies ; la préparation d'un diplôme de doctorat ».

Même si par dérogation l'inscription en thèse est possible sans diplôme de DEA, pour les établissements d'enseignement supérieur agricole, il s'agit d'un élément contextuel majeur. Toujours selon ce même arrêté, « le diplôme d'études approfondies est délivré par les établissements publics à caractère scientifique, culturel et professionnel habilités à cet effet par arrêté du ministre de l'Éducation nationale après avis du Conseil

national de l'enseignement supérieur et de la recherche, seuls ou conjointement avec d'autres établissements d'enseignement supérieur public». Les ENSA dépendant du ministère en charge de l'Agriculture ne peuvent donc délivrer seules le DEA.

Cet ensemble législatif a eu pour conséquence majeure le développement à cette époque – par les établissements d'enseignement agricole dépendant du ministère en charge de l'Agriculture – d'une politique d'alliance avec les universités, passage obligé de leur maintien au niveau le plus élevé de la diplomation académique. Et au sein des établissements, les disciplines non universitaires ont dû s'adapter à ce nouveau paysage. Le lien entre école d'agronomie sous tutelle du ministère en charge de l'Agriculture et université ne préexistait de manière significative qu'à Montpellier, où un DEA d'agronomie avait été mis en place dès la fin des années 1960 (Paris Pireyre, 2003), dont le contenu était très centré sur les dimensions physiologiques si on se réfère aux compétences de ceux qui l'ont dirigé, d'une manière sans doute assez similaire à ce qui pouvait exister à Nancy (école sous tutelle du ministère en charge de l'Enseignement supérieur). La mise en place de DEA conjoints entre université et écoles d'ingénieur a permis de sécuriser la présence des disciplines agronomiques dans la formation à et par la recherche; inversement, elle a aussi permis de renforcer dans les écoles des champs peu investis par le cursus ingénieur – comme celui de l'écophysiologie et de l'amélioration des plantes à Clermont-Ferrand, où fut monté le premier DEA conjoint entre une Enita et l'université, avec un renfort important des unités de recherche du site. Cette politique s'est poursuivie après la réforme des cycles universitaires (licence, master, doctorat) du début des années 2000 puis 2010. Les conséquences pour l'enseignement de l'agronomie n'ont pas été négligeables. En effet, il s'agissait de nouer des alliances avec des disciplines universitaires pour diplômer en commun au niveau du DEA, ce qui nécessitait des convergences disciplinaires et pédagogiques; mais, dans le même temps, chaque discipline souhaitait continuer à exister et ne pas se diluer dans un ensemble indistinct. Dans un univers de large méconnaissance réciproque, de rapports de force, de cultures pédagogiques différentes, cette voie ne fut pas toujours un long fleuve tranquille. L'exemple de ce qui advint à l'INA P-G l'illustre :
– à la fin des années 1980, une première alliance avec l'écologie dans sa composante d'écologie fonctionnelle, autour de l'intérêt commun pour l'écophysiologie (DEA de «production végétale»);
– une seconde alliance à partir du milieu des années 1990 avec la génétique et l'amélioration des plantes d'une part, et la phytopathologie d'autre part, autour d'une vision intégrée du peuplement végétal cultivé (DEA Biologie, diversité, adaptation des plantes cultivées, puis DEA Adaptation des plantes cultivées), visant à élargir les points d'interactions avec les disciplines universitaires, mais aussi dans le cadre du rapprochement avec ces disciplines au sein même de l'établissement en raison de la diversification des objets d'intérêt de l'agronomie;
– à partir du milieu des années 2000, et profitant du passage du DEA au master et de la capacité pour l'établissement de délivrer seul ce dernier, un retour vers une formation de master sur l'agronomie seule, mais avec des ponts vers l'écologie, se traduisant par un master d'agronomie, se transformant dans les années 2010 en un parcours «De l'agronomie à l'agroécologie» : il s'agissait de se doter dans cette formation de la capacité de traiter plus largement des objets, concepts, méthodes de l'agronomie que ne le permettaient les formules précédentes, qui restaient très centrées sur le fonctionnement du peuplement végétal.

Ce type de cheminement a eu plusieurs conséquences, déclinées de manière diverse et plus ou moins rapidement selon les établissements. La première est, pour ceux qui en étaient relativement éloignés, une meilleure connaissance du dispositif universitaire, de ses attendus, de l'importance comme de la difficulté d'y être reconnu. La deuxième correspond au renforcement de collaborations avec des disciplines du domaine de la biologie avec lesquelles l'agronomie avait à faire, et qui n'étaient pas toujours ses partenaires de fait; sans pouvoir affirmer que ces dimensions pédagogiques furent un moteur essentiel des interactions avec ces disciplines évoquées dans d'autres chapitres de cet ouvrage, elles en furent en tout cas contemporaines. Enfin, les établissements durent opérer une réflexion sur la distinction qu'ils souhaitaient faire entre un enseignement de l'agronomie en spécialisation d'ingénieur et en DEA ou master.

Par ailleurs, dans le secteur public toujours, la parution du décret du 28 février 1991 « portant statuts particuliers des corps d'enseignants-chercheurs des établissements d'enseignement supérieur publics relevant du ministre chargé de l'Agriculture » modifie sensiblement le contexte de l'enseignement agronomique. Ce décret, sur la base d'un alignement sur les statuts en vigueur au sein du ministère de l'Enseignement supérieur, organise la profession des enseignants de l'enseignement supérieur agricole en les réduisant à deux corps (maîtres de conférences et professeurs). Les missions des établissements publics sont unifiées, et parallèlement le sont également le recrutement, le nom du diplôme et la durée des études. En particulier, tous les enseignants-chercheurs ont une double mission de formation et de recherche, ce qui n'était pas systématiquement le cas antérieurement dans les Enita. À cette époque, le ministère en charge de l'Agriculture met d'ailleurs une pression sur l'ensemble de ses écoles, privées comme publiques, pour qu'ils définissent une politique de recherche. L'agronomie est alors une discipline d'enseignement et de recherche clairement identifiée dans les recrutements des enseignants-chercheurs.

Ces évolutions institutionnelles ont engendré des évolutions dans l'enseignement d'agronomie au sein des différentes écoles, avec globalement une forme de convergence des contenus d'enseignement. Ainsi, Caneill *et al.* (2001) puis Prévost *et al.* (2013) ont procédé à une analyse comparative des contenus des enseignements en agronomie et des méthodes de formation mobilisées dans les cursus d'ingénieur de respectivement quatre et huit de ces établissements. Dans les deux cas ils se référaient à la période qui précédait leurs écrits, deux périodes séparées donc par une décennie environ. Leur constat est assez similaire sur plusieurs points, et dès la fin des années 1990 on peut considérer de manière synthétique :
– que l'enseignement de l'agronomie dans les établissements concernés partage un large socle de contenu sur les objets et les concepts enseignés, autour du fonctionnement du peuplement végétal, de la notion de système de culture, et d'objets spatiaux et niveaux d'organisation englobants par rapport à ces derniers[12] ;
– qu'il existe une gradation dans le cursus d'ingénieur en même temps qu'une adaptation de l'enseignement de l'agronomie à des publics différents, consistant à d'abord enseigner les concepts de base à tous les étudiants (après une confrontation première à l'activité agricole, génératrice de questionnements), puis à les mobiliser dans des situations agronomiques variées dans des enseignements optionnels, enfin à délivrer

12. Ce constat a été confirmé par des entretiens menés dans la plupart des établissements pendant la rédaction de ce chapitre.

un enseignement plus approfondi aux étudiants se préparant à des métiers en rapport avec la production végétale, en distinguant la formation pour des métiers d'ingénieur de celle pour des métiers de chercheur ;
– que les enseignants-chercheurs sont confrontés à la difficulté d'un contenu agronomique croissant à enseigner, alors que la place dédiée à la discipline tend à se restreindre dans le cursus.

Parce qu'elle est située plus tard, mais aussi parce qu'elle est fondée sur un spectre d'écoles plus large, l'analyse de 2013 fait ressortir trois points complémentaires :
– par-delà le socle commun entre établissements, il existe des variations dans le contenu agronomique de l'enseignement (par exemple, les dimensions territoriales de l'agronomie ne sont pas présentes partout à la même hauteur, et parfois absentes) ;
– les volumes horaires dédiés à la discipline peuvent être sensiblement différents, avec un volume plus important dans les écoles privées recrutant en post-bac, et des méthodes pédagogiques dans ces dernières faisant une place plus large au terrain ;
– il existe une tension entre le maintien d'un enseignement disciplinaire suffisamment conséquent et le développement d'activités d'enseignement pluridisciplinaires, allant parfois jusqu'à interroger la pérennité de la discipline dans les établissements.

De manière synthétique, et en extrapolant aux autres établissements non analysés dans ces deux articles, l'enseignement contemporain de l'agronomie dans l'enseignement supérieur long est fondé sur une vision globalement partagée de la discipline, tout en n'étant pas complètement similaire. Les différences de contenu tiennent quant à elles surtout à des structures de cursus différentes (trois ou cinq ans), et à des vocations plus ou moins spécialisées des établissements, en lien avec les productions agricoles des régions d'implantation ou des régions de destination des diplômés. Et par ailleurs, l'interrogation sur l'identité disciplinaire de l'agronomie est largement partagée.

Transformation pédagogique puis enjeux environnementaux et sociétaux dans l'enseignement technique agricole

Au début des années 1980, un écart encore important existe entre les attentes des futurs agriculteurs et la formation dispensée, qui reste très parcellisée, plutôt normative, avec des programmes lourds, insuffisamment reliés aux problèmes rencontrés sur le terrain et ne prenant pas en compte les derniers développements de la recherche sur les décisions des agriculteurs (Petit, 2012). Les résultats aux examens, notamment au BTA option Conduite de l'entreprise agricole, restent insatisfaisants et témoignent d'une difficulté des candidats à établir des liens entre les enseignements scientifiques reçus et leurs applications pratiques (Leblanc, 2011). Si une première tentative, avec la directive Malassis du 11 juin 1980, échoue, la véritable rénovation pédagogique va débuter en 1984, dans le prolongement des États généraux du développement agricole, et se poursuivre tout au long des années 1990 avec un vaste plan de rénovation des différents niveaux de l'enseignement agricole. La réforme de 1984 est à la fois institutionnelle – décentralisation et création des Établissements publics locaux d'enseignement et de formation professionnelle agricoles (Eplefpa), avec la définition de missions, la clarification des relations entre l'État et l'enseignement privé –, structurelle (examen réalisé pour partie en contrôle en cours de formation, diplôme construit sous forme modulaire) et pédagogique (approche par objectifs, développement de la pluridisciplinarité,

autonomie pédagogique, adaptation locale de la formation). En particulier, le contrôle continu renforce la crédibilité de l'enseignement avec la possibilité d'évaluer sur des situations réelles (Leblanc, 2011). Les promoteurs de la réforme peuvent s'appuyer sur les recherches-actions et les expériences de terrain de l'Institut national de recherches et d'appui pédagogique (Inrap), impliquant de nombreuses équipes dans les établissements, avec plus particulièrement l'expérimentation FoCEA (Formation des chefs d'exploitation agricole), initiée dès 1975, le BTSA TAGE (Techniques agricoles et gestion de l'exploitation) et le BTSA PV (Productions végétales) par unités de valeur ou le CAPA (Certificat d'aptitude professionnelle agricole) par unités capitalisables. Depuis cette étape, l'organisation des diplômes et des formations s'est progressivement élaborée à partir d'une meilleure identification des qualifications attendues des agriculteurs, reposant sur une analyse systémique des situations professionnelles. Les programmes deviennent progressivement des référentiels de diplôme et intègrent dorénavant un référentiel professionnel, première étape désormais du processus de construction d'une formation professionnelle. Le référent « métier » devient alors très important et permet de mieux assurer la contextualisation des savoirs enseignés (Marshall, 2006). Les programmes sont structurés autour d'objectifs à atteindre par les apprenants, libellés sous la forme de verbes d'action, et non plus uniquement sous la forme de contenus, qui deviennent alors des « savoirs-outils » à mobiliser dans des « situations à vivre », souvent pluridisciplinaires. L'objectif n'est plus la simple reproduction de recettes ou la répétition de leçons, mais de positionner davantage les élèves en tant qu'acteurs qui prennent en compte dans leurs choix la réalité du terrain.

Cette réforme de 1984 va permettre un changement profond de l'enseignement des productions végétales. Une remise en cause fondamentale de l'ancien « corpus phytotechnique » est opérée pour une approche beaucoup plus systémique de la discipline. La transposition progressive de concepts et de démarches agronomiques développés par la chaire d'agronomie de l'INA P-G ainsi que l'adoption de méthodes élaborées par la recherche pédagogique propre à l'enseignement technique sont les points les plus marquants de cette évolution. Le but visé par l'enseignement des productions végétales est de positionner davantage les élèves en tant qu'acteurs qui prennent en compte dans leurs décisions la réalité du terrain, avec un enseignement beaucoup plus contextualisé et pluridisciplinaire, pour favoriser l'acquisition d'une intelligence de la complexité et de l'action (Marshall, 2006). À la suite de l'expérimentation FoCEA, les objectifs de formation pour les productions végétales sont élaborés autour « d'opérations-clés » qui permettent la maîtrise du processus productif : opérations d'observation par les sens des états du milieu et du peuplement, opérations de contrôle (comptage, mesure, calcul), opérations d'évaluation et de diagnostic des potentialités du milieu, opérations de prise de décisions à court et à long terme et opérations physiques et manuelles, mais aussi compréhension des objectifs de l'agriculteur et de la façon dont il prend ses décisions (Inrap, FoCEA, tome 1, 1981).

Si on retrouve encore une structuration entre des modules plus généraux et des modules plus appliqués, la formation devient beaucoup moins analytique et encyclopédique, avec notamment une réduction du nombre de cultures étudiées et l'hypothèse que les qualifications et savoir-outils associés sont transférables d'une culture à une autre (Bonneau *et al.*, 1985). Le programme le plus novateur de cette période pour l'agronomie reste certainement celui du BTSA expérimental « Productions végétales »

par unités de valeur (UV), écrit par J.R. Bonneviale en 1984, avec la collaboration d'ingénieurs formateurs des établissements en expérimentation (Dax, Dijon et Poitiers) ; l'UV5 est par exemple intitulée « Étude des systèmes de production, des systèmes de culture et de leurs évolutions », avec un module intitulé « Analyse et diagnostic du fonctionnement global de l'exploitation », prémices de l'AGEA (Approche globale de l'exploitation agricole) en cours de formalisation, et deux modules intitulés Analyse, diagnostic et évolution d'un système de culture.

Progressivement, ce nouveau cadre conceptuel va être mis en place au fil des rénovations dans l'ensemble des formations, avec un enseignement d'agronomie structuré autour de deux objets d'étude : « la parcelle et l'itinéraire technique » d'une part, « l'agriculteur et ses pratiques dans son exploitation » d'autre part. Concernant l'objet « parcelle de culture », considéré comme le niveau de décision de base, les quatre objectifs de formation sont : l'observation et l'évaluation des états successifs de la parcelle en lien avec les étapes clés de l'élaboration du rendement; l'amélioration ou la gestion de la fertilité du milieu; le raisonnement d'itinéraires techniques en fonction d'objectifs et/ou de contraintes; et l'analyse et la proposition de modifications d'un système de culture. Les notions de « composantes et d'élaboration du rendement », de « facteurs et conditions de croissance », d'« états du milieu », d'« itinéraires techniques », de « processus productif » ou de « système de culture » font leur apparition dans les programmes ainsi que les démarches d'analyse du profil cultural, d'analyse des composantes du rendement, de diagnostic agronomique. Les modules intègrent progressivement les connaissances nouvelles en écophysiologie couplées aux connaissances en bioclimatologie, en phytopathologie et en sciences du sol, puis progressivement celles liées à l'écologie. Un objectif transverse aux différentes formations de la voie professionnelle ou technologique reste le pilotage de la culture et l'optimisation ou la rationalisation de l'usage des intrants dans un système de contraintes données à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation (potentialité du milieu, atouts/contraintes de l'exploitation, objectifs de l'agriculteur). Le recours à différentes démarches ou outils de raisonnement est clairement inscrit dans les référentiels : notion de seuil de nuisibilité, mobilisation des avertissements agricoles, méthodes de bilan pour fertilisation, modèles ou outils d'aide à la décision, etc. Pour reprendre la typologie proposée par C. Salembier (2019) concernant les régimes de conception des agriculteurs, après la formation d'« agriculteurs applicateurs » des années 1960-1970, on vise cette fois la formation d'« agriculteurs optimisateurs », avec un enseignement qui reste encore marqué par la recherche de productivité et par une rationalité technico-économique encore significative, même si on peut noter une ouverture sur la diversité des modes de production. Les enseignants peuvent s'appuyer sur les productions de la Relance agronomique, les expérimentations du Réseau national d'expérimentation et de démonstration en élevage (DGER, 1993), les avertissements agricoles de la protection des végétaux, des revues comme *Perspectives agricoles* ou des outils permettant des simulations de cultures (Loncle, 1991).

Quant à l'objet « exploitation agricole », l'idée de prendre davantage en compte l'agriculteur et ses pratiques dans la formation a été initiée par les animateurs pédagogiques de l'Inrap dès les expériences des années 1970, avec la volonté de mieux valoriser les stages en exploitation agricole et de mieux prendre en compte la diversité des manières de faire. Dans cette optique, s'appuyant à la fois sur le courant systémique et sur le courant décisionnel (travaux notamment de M. Petit, Enssaa/Inra-SAD), Marshall, Bonneviale et Jussiau ont progressivement formalisé « l'approche globale

de l'exploitation agricole» (AGEA), qui se donne comme objectif de comprendre et modéliser le fonctionnement de l'exploitation agricole par la construction d'un schéma dit «de fonctionnement» (Bonneviale *et al.*, 1989). Fondée sur une démarche pédagogique rigoureuse et pluridisciplinaire, influencée par les théories pédagogiques constructivistes (les enseignants cherchent et construisent avec les élèves), cette méthode a rapidement et durablement été intégrée dans de nombreuses formations de la voie professionnelle, technologique et même générale, avec l'idée d'initier les élèves à la modélisation et d'approcher la complexité sans trop la simplifier tout en permettant l'acquisition de savoirs procéduraux (Bonneviale et Marshall, 2012). Dans le cadre pluridisciplinaire de la méthode, le parcellaire constitue un vecteur privilégié pour aborder les pratiques de l'agriculteur. L'entrée par les pratiques, «liées à l'opérateur et aux conditions dans lesquelles il exerce son métier» (Teissier, 1979), se retrouve par ailleurs dans d'autres situations de formations que l'AGEA, notamment dans le bac technologique, où il est demandé aux enseignants d'entrer par les pratiques des agriculteurs et d'identifier les décisions qui sous-tendent ces pratiques plutôt que d'entrer par les techniques. Selon les formations et les modules, l'importance accordée à l'un ou l'autre de ces objets est variable, avec une cohérence plus ou moins évidente entre les deux approches. De ce point de vue, l'épreuve d'EPI (Épreuve professionnelle interdisciplinaire) du BTSA TV de 1992 apparaît dans sa conception comme une synthèse pertinente de ces deux approches. Pour reprendre la terminologie de C. Salembier, l'objectif de formation vise à former maintenant des «agriculteurs décideurs».

Par ailleurs, à partir des années 1990, la prise en compte de préoccupations environnementales se généralise dans toutes les filières de formation, avec en particulier la création du bac technologique STAE (1993, Sciences et technologies de l'agronomie et de l'environnement). L'introduction d'un module «Agroécosystèmes et environnement» dans le BTSA «Technologies végétales» (1991) ou d'un module intitulé «Élevage et environnement» dans le BTSA «Production animale» (1992) participent de la même tendance, avec, dans ce dernier cas, une entrée sociotechnique plus marquée. En 1999, une nouvelle étape est franchie avec la loi d'orientation agricole du 9 juillet, puis en 2001, avec la loi d'orientation forestière et, en 2005, avec la loi sur le développement des territoires ruraux, qui traduisent un rapprochement entre l'agriculture et la société et spécifient clairement que l'agriculture «participe à l'aménagement du territoire, en vue d'un développement durable». L'enseignement agricole a pour vocation de traiter des problèmes de la société tout entière : alimentation, nutrition, protection des ressources naturelles, problèmes éthiques, problèmes d'acceptabilité sociale des risques, etc. (DGER, chantier Prospea, 2002).

Cette prise en compte des préoccupations environnementales trouve une traduction concrète dans l'enseignement d'agronomie au-delà des filières naturalistes, plutôt centrées sur l'étude des écosystèmes peu anthropisés. Si l'influence de la lutte chimique sur les équilibres biologiques est évoquée dans les programmes dès le BTSA PV de 1960, ou le problème de la pollution des eaux par les nitrates dès le BTA de 1985, l'environnement est plutôt vu jusqu'alors comme une contrainte dans les filières de formation du secteur production. L'écriture du module pluridisciplinaire (écologie, agronomie, géographie) du BTSA TV « Agroécosystèmes et environnement » en 1991 marque une évolution forte dans l'enseignement de l'agronomie en spécifiant clairement la nécessité de prendre en compte les effets des interventions agricoles sur l'environnement dans la prise de décision et d'intégrer des échelles supraparcellaires

dans une gestion collective. C'est avec la création du bac technologique STAE de 1993 et l'écriture d'un module centré sur l'étude écologique et agronomique d'un agrosystème que l'on peut véritablement parler de généralisation d'une approche écologique dans l'enseignement initial de l'agronomie, prémices à l'agroécologie des années 2010. À noter que si l'accent est mis sur les flux, les bilans de matière et d'énergie, le volet biodiversité fonctionnelle reste assez peu évoqué, même si en 2002, en écho à la Conférence de Rio de 1992, le baccalauréat technologique STAE rénové introduit le mot « biodiversité ». Les enseignants peuvent s'appuyer sur le livret du Centre national de promotion rurale (dispositif de formation à distance des diplômes de l'enseignement agricole) *Approche écologique des agrosystèmes*, rédigé par Dalmais (2000), ou les nombreuses formations continues mises en place par l'Établissement national d'enseignement supérieur agronomique de Dijon (Enesad) (1995-1998) pour construire leur enseignement. À partir de cette période, le lien est systématiquement réalisé dans les référentiels entre la conduite des itinéraires techniques ou la mise en œuvre des techniques et le respect de l'environnement.

Les questions environnementales conduisent aussi à s'intéresser à de nouvelles échelles ainsi qu'à de nouveaux acteurs. Initiée dès la fin des années 1960 avec les études du milieu (Inrap, Centre d'expérimentations pédagogiques de Florac), puis formalisée par exemple dans le module « Connaissances et pratiques sociales » du BTA rénové de 1985, l'approche territoriale ou paysagère pluridisciplinaire va être intégrée dans les différentes voies de formation, notamment dans la voie technologique et générale, sans que l'on puisse parler d'une véritable « agronomie » des territoires. On peut évoquer le module « Agrosystème et territoire » de la seconde générale et technologique, qui deviendra l'EATC (Écologie-agronomie-territoire-citoyenneté) en 1999, la création de l'option ATC (Agronomie-territoire-citoyenneté) en bac S ou le module « Diagnostic de l'entreprise dans son environnement » du baccalauréat professionnel Conduite et gestion de l'entreprise agricole (1996), qui mettent par exemple l'accent sur l'approche sensible, esthétique ou raisonnée du paysage. L'agronomie devient ainsi à cette période la discipline de l'enseignement technique agricole identifiée dans les diplômes de l'enseignement général (baccalauréat scientifique).

La loi d'orientation agricole du 9 juillet 1999, puis le Grenelle de l'environnement en 2008 vont conduire à une évolution significative de l'enseignement de l'agronomie, avec en particulier : l'intégration dans les contenus de la notion de « développement durable » ; la prise en compte des enjeux liés à la gestion du vivant et des ressources, notamment sur le long terme ; et une appréhension beaucoup plus globale de la chaîne alimentaire, faisant du « fait alimentaire » un objet intégrateur et interdisciplinaire de formation (DGER, chantier Prospea, 2002). Pour illustrer ces évolutions, on peut évoquer les créations dans la filière technologique STAV (Sciences et technologies de l'agronomie et du vivant, remplaçant le STAE en 2006) d'un module intitulé « Fait alimentaire », pour lequel il est demandé de faire la liaison entre processus de production, de transformation et qualité des produits en lien avec les attentes des consommateurs, et d'un module intitulé « Gestion du vivant et des ressources » mettant en avant la mobilisation par l'homme de ressources dans la durée et l'importance d'une gestion durable des agrosystèmes. Les démarches de diagnostic multicritère fondées sur l'utilisation d'indicateurs vont être prescrites dans les référentiels, d'abord à l'échelle globale de l'entreprise agricole, où le diagnostic global de l'entreprise agricole est systématiquement replacé dans une perspective de durabilité, puis à l'échelle

du système de culture (bac professionnel CGEA, Conduite et gestion de l'exploitation agricole, 2008; BTSA APV, Agronomie et productions végétales de 2010). À l'échelle de l'entreprise, les enseignants peuvent également prendre appui sur la méthode IDEA (Indicateurs de durabilité de l'entreprise agricole) mise au point à la Bergerie nationale de Rambouillet, d'usage pédagogique aisé.

La montée en puissance des enjeux environnementaux en formation continue

La période étant caractérisée par l'émergence de la problématique environnementale dans l'activité agricole, le fait marquant a été la volonté de renforcement des capacités de tous les acteurs de l'agriculture pour une meilleure prise en compte des risques environnementaux dans la pratique professionnelle. Cela a concerné l'ensemble du monde agricole, de la recherche-développement jusqu'aux agriculteurs, et les concepts et outils de l'agronomie ont connu alors une diffusion beaucoup plus large dans la formation continue. En dehors de l'action Relance agronomique, qui s'est poursuivie jusqu'en 1994 pour les ingénieurs de la recherche-développement, du conseil agricole et pour les enseignants des lycées agricoles, les écoles de l'enseignement supérieur agronomique ont développé différentes actions de formation continue pour répondre à ce besoin de mieux relier agriculture et environnement. Cette proximité créée avec l'enseignement supérieur agronomique pour la formation continue des ingénieurs et des enseignants de lycées agricoles s'est poursuivie depuis lors. L'encadré 7.2 témoigne de ce compagnonnage dans la formation continue en agronomie entre l'enseignement supérieur agronomique et l'un des instituts techniques, le Cetiom (devenu Terres Inovia).

Encadré 7.2. L'évolution de la formation permanente à l'Institut Terres Inovia

David Gouache, avec l'aide de Gilles Sauzet, Frédéric Salvi, Xavier Pinochet

La formation continue des collaborateurs a toujours constitué un enjeu essentiel pour les instituts techniques agricoles (ITA) comme le Cetiom. En effet, le rôle de référent technique et scientifique exige que les compétences soient en permanence maintenues à la pointe des évolutions dans chaque discipline biologique et technique. L'agronomie a joué un rôle particulier en la matière, car le dynamisme de l'enseignement de l'agronomie en France a fait en sorte que la formation continue en agronomie s'est avérée, au fil des années, être un levier majeur de la gestion prévisionnelle des emplois et compétences (GPEC) de l'institut. En quelques décennies, cet enseignement de l'agronomie a façonné le Cetiom, devenu Terres Inovia. Deux faits marquants caractérisent cet enseignement : la diversité des parcours et des spécialités techniques des collaborateurs formés, et l'impact opérationnel, toujours manifeste aujourd'hui, de l'application de cet enseignement.

Au début des années 1990, comme toute l'agriculture française et européenne, le Cetiom a dû s'adapter à la nouvelle donne de la politique agricole commune avec la réforme de 1992. Cela a conduit l'institut à devoir gérer une situation sociale difficile. Heureusement, à la même époque, la formation Relance agronomique était encore active. Elle a profondément marqué la gestion des ressources humaines du Cetiom de l'époque. Il a été en effet proposé à de nombreux collaborateurs, en général techniciens titulaires d'un BTSA, de suivre un cycle de formation en vue

Encadré 7.2. L'évolution de la formation permanente à l'Institut Terres Inovia (suite)

de l'obtention d'un titre d'ingénieur. Pour plusieurs d'entre eux, ce fut la formation Relance agronomique. Pour d'autres, un travail de mémoire a été réalisé et encadré en interne : ce travail a été très marqué par l'enseignement agronomique supérieur, avec l'importance de la formation au travers d'un travail de diagnostic et/ou recherche. Après ce cycle, le Cetiom a continué à s'appuyer sur les dispositifs de formation continue de l'enseignement agronomique : ainsi, jusqu'au milieu des années 2000, certains collaborateurs se sont formés *via* le dispositif mis en place à la suite de la Relance agronomique entre le CNAM et l'INA P-G : le diplôme d'ingénieur des techniques de l'agriculture.

Trois décennies plus tard, le Cetiom, devenu Terres Inovia, est encore profondément marqué par ce long compagnonnage avec l'enseignement supérieur agronomique.

La première observation frappante est celle de la diversité des parcours et des disciplines. En effet, si certains collaborateurs ont eu un parcours relativement « classique » d'ingénieur de développement typique de l'institut, l'ouverture et l'interdisciplinarité, qui constituent d'ailleurs des souvenirs marquants de cet enseignement, se sont traduites dans les parcours de nombre d'entre eux : spécialistes des bases de données, de l'étude des variétés, du suivi des impacts sur la qualité des eaux, étude de la biologie et de la lutte contre la hernie des crucifères, communication digitale sont quelques-uns des débouchés de ces parcours.

La plus grande marque de cet enseignement agronomique au sein de Terres Inovia est très certainement celle de l'impact opérationnel qu'a eu cet enseignement sur les productions de méthodes de travail de l'institut. L'illustration la plus marquante est le travail réalisé sur l'amélioration de la culture du colza, puis des systèmes de culture colzaïcoles, en Champagne berrichonne, par Gilles Sauzet. Les modules de formation continue de l'institut, et les concepts clés qui les sous-tendent, ont permis l'émergence d'un très grand nombre d'outils opérationnels, dont l'impact sur le terrain ne fait que croître un quart de siècle plus tard. Une approche de diagnostic des états du milieu appliqué au colza, Diacol, a ainsi été mise au point. À partir des années 2000, cette approche de diagnostic a été mise en application auprès de groupes d'agriculteurs de Champagne berrichonne. Cet accompagnement a permis de tester et d'améliorer de nombreuses innovations d'intérêt pour les systèmes de grande culture en sols argilo-calcaires superficiels : semis direct, introduction de couverts d'interculture et permanents, allongement des rotations, colzas associés à des légumineuses gélives et, tout récemment, conduite de « colza robuste ». À chaque fois, la clé méthodologique qui sous-tend toutes ces études est celle du diagnostic des états du milieu. Sa dernière traduction opérationnelle, le guide méthodologique « colza robuste »[1], permet effectivement, sur la base d'une méthode de diagnostic, de conduire la culture en conciliant réduction d'usage de produits phytosanitaires et d'engrais minéraux et rendements accrus, grâce à une fertilité du sol améliorée en particulier. Les fondamentaux de l'enseignement agronomique, dont la Relance agronomique fut un des vecteurs emblématiques, sont ainsi devenus des outils clés pour Terres Inovia, et ce cycle de formation n'y est pas étranger. Ces fondamentaux trouvent également, par le biais du travail d'innovation et de transfert de Terres Inovia, un large écho sur le terrain : ainsi, la culture de colza associé à des légumineuses gélives atteint 20 % de la sole de colza, et le semis direct les 5 %.

1. https://www.terresinovia.fr/p/guide-technique-reussir-son-implantation-pour-obtenir-un-colza-robuste

Quant à la formation continue des agriculteurs, la problématique environnementale y émerge également fortement à partir des années 1990 et favorise le déploiement des concepts et outils de l'agronomie :
– dans la préparation à la qualification professionnelle, la période se caractérise d'une part par l'élévation du niveau de formation (la capacité professionnelle pour l'installation en agriculture se situe désormais au niveau du baccalauréat après 1997), et d'autre part par des contenus d'enseignement favorisant des démarches systémiques et un raisonnement agronomique intégrant les risques environnementaux (outils d'autoformation de la collection Cible, 1998) ;
– dans la diffusion-accompagnement auprès des agriculteurs, si le raisonnement agronomique prend une place importante dans les formations continues des agriculteurs dès les années 1980, les enjeux environnementaux et la nouvelle politique agricole de 1992 ont donné progressivement aux risques environnementaux une place de plus en plus importante dans les thèmes de formation collective des agriculteurs. L'encadré 7.3 témoigne de l'expérience d'une chambre d'agriculture sur la période.

Encadré 7.3. La formation continue en agronomie des agriculteurs, l'expérience de la chambre d'agriculture de Saône-et-Loire

De 1979 à 2018, F. Kockmann a réalisé l'essentiel de sa carrière professionnelle au sein de la chambre d'agriculture de Saône-et-Loire, d'abord comme conseiller en agronomie, puis comme chef du service Agronomie-Gestion de l'espace-Environnement, et enfin comme directeur. Il a été ainsi un observateur attentif des évolutions des besoins de formation et des compétences en agronomie des agriculteurs. Il en identifie les principales étapes.

■ De 1980 à 1992 : de l'émergence à l'affirmation de l'agronomie dans l'offre de formation

C'est par le drainage, technique introduite au cours des années 1975, que la première formation en agronomie est mise en place sur l'initiative d'un conseiller généraliste, en Bresse, région de polyculture-élevage, en sols de limons battants : le cursus vise à remettre en cause la liaison abusive entre drainage et rendement, en illustrant notamment le rôle déterminant du profil cultural, impacté par les travaux du sol et en raisonnant la conduite des cultures, en particulier la fertilisation azotée. Le drainage modifiant le système « sol-plante-climat-techniques », le chaulage, objet d'un dispositif régional de recherche de références en limons battants suite à la raréfaction des scories Thomas, a été un autre thème de formation, toujours avec une alternance entre observations sur le terrain (avec le profil cultural et le tour de plaine) et apports de connaissances en salle. L'accent général est donc mis sur la dimension systémique de l'agronomie à l'échelle de la parcelle.

À partir de 1985, le plan de fumure global de l'exploitation devient une formation « phare », avec une démarche agronomique et l'usage d'un logiciel :
– un travail en groupe de 10 à 12 agriculteurs, pour que chacun schématise son plan d'exploitation, caractérise les terrains, retrace l'histoire culturale ancienne et récente de chaque parcelle, les regroupe puis choisisse des parcelles de référence, représentatives de la diversité des situations identifiées sur l'exploitation ;
– un tour de plaine personnalisé pour valider la stratification « terrains-systèmes de culture » et réaliser des prélèvements pour analyse de terre sur chacune des parcelles de référence ;

Encadré 7.3. La formation continue en agronomie des agriculteurs, l'expérience de la chambre d'agriculture de Saône-et-Loire (suite)

– des apports théoriques en salle sur la nutrition minérale et organique des plantes ;
– une mise en commun des résultats d'analyse et de leur interprétation ;
– la remise personnalisée du plan de fumure organique et minéral, réel « tableau de bord » pour raisonner les orientations stratégiques.

La démarche, objet d'une actualisation annuelle et d'une restructuration tous les quatre ans, a motivé environ 40 groupes (Kockmann et Menegon, 1991). Le plan de fumure est resté depuis cette période un sujet récurrent de formation, avec l'évolution du contexte réglementaire (Kockmann *et al.*, 2005) ainsi que des outils logiciels, notamment l'actuel de l'APCA « Mes parcelles ».

À partir de 1987-1988, différentes formations s'inscrivent dans un continuum recherche-développement-formation, inspirées de la Relance agronomique. C'est le cas de l'opération « Avenir Agro Bourgogne », en partenariat avec les instituts techniques agricoles, finalisée par le pilotage régional des itinéraires techniques des différentes cultures en intégrant la diversité des milieux et, en partie, des exploitations ; le dispositif s'inscrit dans la dynamique nationale du groupe « Potentialités » en grandes cultures, animé par J.-M. Meynard (Inra). Les agriculteurs impliqués dans la démarche active pendant la décennie 1990 adhèrent volontiers aux formations orientées en particulier sur les schémas d'élaboration du rendement des cultures, avec là encore alternance entre exposés de connaissances, observations sur le terrain en cours de campagne, puis interprétation des résultats en fin de campagne, un schéma générateur d'une dynamique interactive entre conseillers et agriculteurs confortant la pertinence des outils de la démarche clinique en agronomie.

■ De 1993 à 2003 : la remise en cause de l'intensification de la production

Du fait de la réforme de la PAC de 1992 et des enjeux environnementaux, un premier axe de formation continue a porté sur la réduction des charges de structure et la diversification. Pour la réduction des charges de structure, objet d'une démarche régionale en Bourgogne, le choix a été fait de travailler avec des agriculteurs en formation autour d'un cas concret (objet d'une analyse avec le logiciel d'aide à la décision Equiplan), pour favoriser le partage d'expériences entre pairs afin d'enrichir les scénarios expertisés et discuter les résultats, et permettre à chaque participant, par analogie, d'en tirer des leçons pour sa propre exploitation. Et dans le contexte de recherche de diversification des cultures, une usine de transformation de légumes s'est installée en Saône-et-Loire en 1992, l'industriel obligeant les agriculteurs à maîtriser l'irrigation ; cette innovation a donné lieu à une opération Secteur de références Irrigation, incluant une formation baptisée « Parcours d'initiation à la conduite des légumes irrigués », qui a connu un réel succès puisque plus de 150 agriculteurs ont souhaité s'engager dans la production de légumes.

Par ailleurs, la protection des ressources en eau et la gestion des engrais de ferme ont été un autre investissement en formation. À titre d'exemple, en 1995, dans le cadre de l'opération locale concertée sur le barrage de la Sorme, en région d'élevage allaitant, un cursus de formation a été proposé et bien suivi, allant des caractéristiques hydrogéologiques de la source aux enjeux de potabilité suite à son eutrophisation par un excès de phosphore, jusqu'à l'explicitation du diagnostic agronomique identifiant les pratiques à risques, en l'occurrence liées à l'épandage et au stockage des effluents.

Quant aux engrais de ferme, pour accompagner le Plan de maîtrise des pollutions d'origine agricole (PMPOA) visant la mise aux normes des exploitations, une formation spécifique finalisée sur le plan d'épandage, outil de raisonnement d'une gestion agronomique des engrais de ferme intégrant en particulier les aptitudes des sols et les contraintes organisationnelles de l'exploitation, est initiée en 1999; son objet sera élargi au thème du compostage en région à fortes contraintes structurelles (pente, habitats).

Toujours sur le registre des démarches visant à mieux prendre en considération les enjeux environnementaux, sanitaires et de santé, certaines chambres d'agriculture, comme celles en Bourgogne, se sont fortement impliquées dans la qualification des exploitations puis de l'agriculture raisonnée. Les agronomes ont accompagné les exploitations candidates par des démarches de conseil-formation conçues au niveau régional.

Quant à la multifonctionnalité, la Saône-et-Loire s'est impliquée sur deux sites, en élevage allaitant et en viticulture, dans l'expérimentation des Plans de développement durable (1993-1998) : outre un diagnostic territorial préalable, la démarche comprenait un audit d'exploitation et l'exploration de trajectoires, proposés aux agriculteurs, en groupe, sous forme d'un contrat «formation-recherche-action» animé par les agronomes.

■ De 2003 à aujourd'hui : le développement agricole en prise avec les transitions de l'agriculture

Dans la double perspective de coconstruire des références avec les agriculteurs et d'animer des projets territoriaux multi-acteurs et multi-enjeux, un cycle de formation-action d'une douzaine de conseillers en agronomie a été animé par le Gerdal (2004-2007). Il est finalisé sur l'apprentissage d'un changement de posture pour initier des démarches de recherche et d'animation coactives avec les agriculteurs, avec une mise à l'épreuve sur différents chantiers : techniques culturales simplifiées, gestion des prairies, systèmes de culture innovants, gestion de milieux remarquables et plusieurs opérations locales pour préserver la ressource en eau. L'expérience ainsi acquise conduira à aborder, concevoir et animer les formations des agriculteurs différemment.

Et dans cette période, la réduction des produits phytosanitaires et la préservation de la biodiversité sont deux sujets majeurs dans la formation continue. Au-delà des formations obligatoires et normées, incluses dans le dispositif Écophyto (Certiphyto), l'implication dans le RMT SDCi (Systèmes de culture innovants) ainsi que dans les groupes Dephy a induit des formations/partages d'expériences finalisées sur la maîtrise des phytosanitaires et la multiperformance des systèmes de culture. Quant à la biodiversité, elle a suscité des initiatives de formation pour chacune de ses composantes, remarquable et fonctionnelle. Enfin, depuis 2015, la création de GIEE a induit des parcours de formations pour faire mûrir les projets collectifs. Globalement, la thématique environnementale s'est progressivement renforcée dans les formations proposées aux agriculteurs.

Depuis 2010 : l'agronomie mobilisée par la transition agroécologique

Cette période récente ne se caractérise pas par des réformes institutionnelles d'ampleur, même si les démarches de rapprochement engagées dans les années 2000 des écoles agronomiques avec le système universitaire dans l'enseignement supérieur se poursuivent. En 2020, l'enseignement de l'agronomie dans l'enseignement supérieur long

reste réalisé essentiellement dans les écoles délivrant un diplôme d’ingénieur (auxquelles il faut ajouter l’Ensfea à Toulouse, formant les formateurs de l’enseignement agricole). L’enseignement de la discipline dans les cursus universitaires (DUT, licence, master) est, au regard de ces formations d’ingénieur, quantitativement limité, tant en nombres de diplômés que de volumes horaires dédiés à la discipline agronomie; et quand il existe au niveau des diplômes de master et de doctorat, il est dans la presque totalité des cas réalisé par les équipes enseignantes de ces écoles d’ingénieur. D’ailleurs, il n’existe pas au Conseil national des universités de section disciplinaire incluant l’agronomie. Et dans l’enseignement technique agricole, aucune réforme nouvelle n’a modifié struturellement la place et le rôle de l’agronomie dans les cursus de formation.

En revanche, le fait marquant pour l’enseignement d’agronomie depuis la fin des années 2000 est l’appel à la transition agroécologique, le Grenelle de l’environnement en 2008 ayant renforcé l’urgence environnementale notamment par la mise en lumière des risques sanitaires – que l’on nomme aujourd’hui par la notion de santé globale. La nécessité de trouver des modèles alternatifs au modèle agricole productiviste questionne ainsi fortement les savoirs à enseigner, dans tous les systèmes de formation agricole. Des réflexions suivies d’actions ont été conduites d’abord dans le cadre du plan Écophyto (action 16, 2009). Et dans l’enseignement technique, le plan «Enseigner à produire autrement» a été initié en 2013 au sein de la DGER, dans le cadre du développement de l’agroécologie prônée par le ministre chargé de l’Agriculture Stéphane Le Foll. La loi d’avenir pour l’agriculture, l’alimentation et la forêt de 2014 et la concertation pour l’avenir de l’enseignement agricole, qui engagent tous les acteurs de la recherche et de l’enseignement à transférer au plus vite les connaissances et expériences de pratiques agroécologiques dans l’enseignement, repositionnent l’agronomie dans la formation des acteurs de l’agriculture, tout en l’interrogeant à nouveau sur ses contours, le lien aux autres disciplines et sa capacité à contribuer à la formation de compétences au service de la transition écologique de l’agriculture.

Dans l’enseignement supérieur, cela s’est traduit au moins de trois manières :
– l’offre de formation en sciences de la production végétale a rapidement évolué pour s’inscrire dans le cadre de la transition agroécologique. Nous avons vu plus haut la dynamique de l’offre de master, comme celui d’AgroParisTech qui a fait évoluer son master «agronomie», créé en 2004, à la fois dans son intitulé et son architecture de formation en 2010 (nouvel intitulé «De l’agronomie à l’agroécologie», figure 7.3);
– les contenus de formation ont modifié le périmètre de l’agronomie. Toujours à titre d’illustration, l’évolution des contenus d’enseignement du master «De l’agronomie à l’agroécologie» a évolué en quelques années dans trois directions : l’intégration écologie-agronomie (avec des approches agroécologiques), la dimension territoriale du local au global (avec la gestion des ressources naturelles et la gestion des systèmes alimentaires), et l’importance du contexte social et professionnel dans les situations agronomiques (avec la prise en compte de la diversité des pratiques agricoles, des collectifs et des démarches) (figure 7.3);
– le recrutement de nouveaux enseignants-chercheurs en agronomie, où la transition agroécologique est l’élément de contexte essentiel orientant le profil des nouveaux enseignants-chercheurs.

Dans l’enseignement technique agricole, les réflexions menées depuis 2013 dans le cadre de la concertation pour l’avenir de l’enseignement agricole et du plan Enseigner

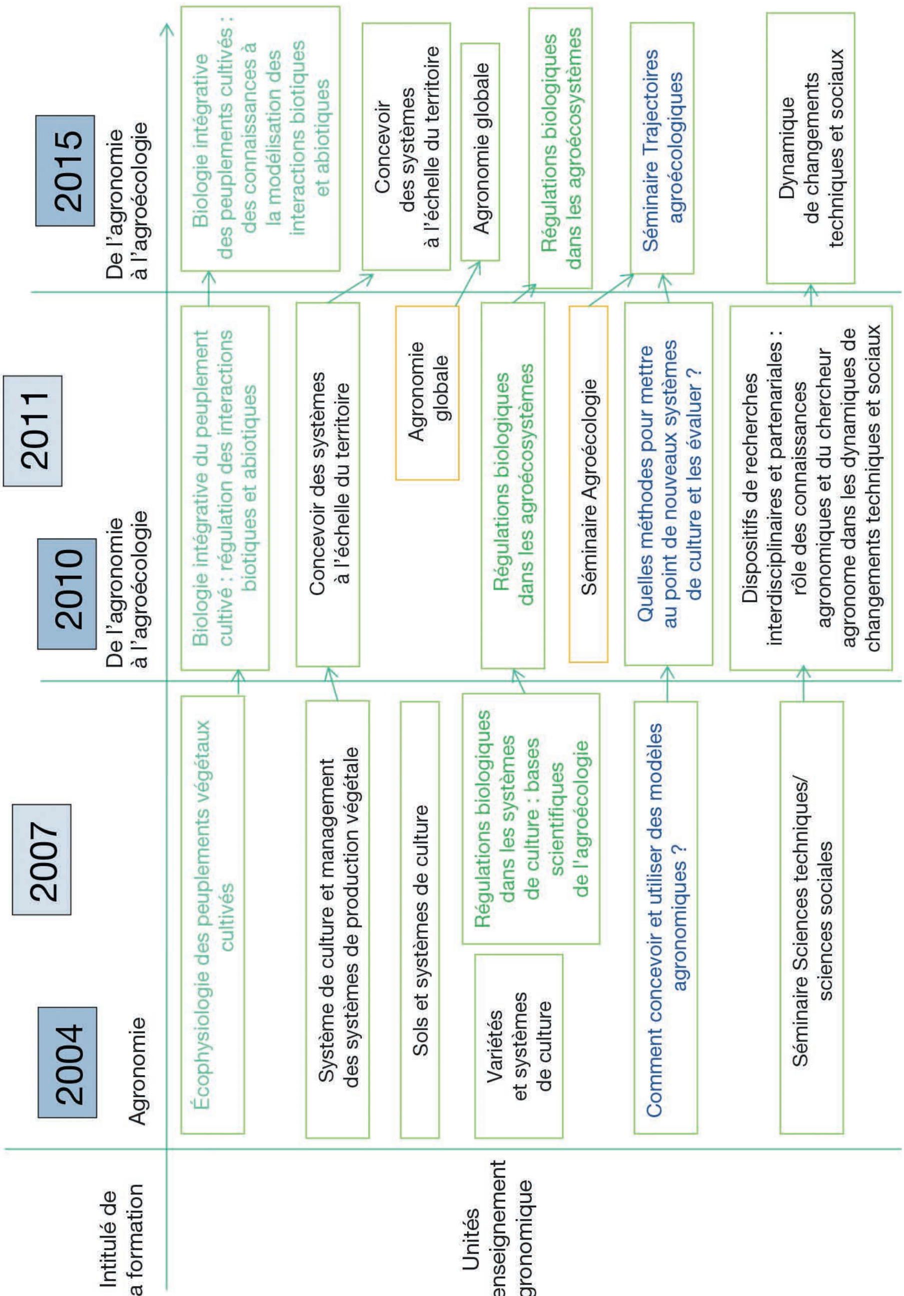


Figure 7.3. Évolution de l'architecture de formation du master « De l'agronomie à l'agroécologie » d'AgroParisTech de 2004 à 2015 (Cancian *et al.*, 2016).

à produire autrement (rapport de l'Inspection de l'enseignement agricole, 2013 ; Nallet, 2013) ont montré qu'une évolution des référentiels s'imposait pour intégrer des démarches plus agroécologiques, réinterrogeant les contours de la discipline et ses liens avec les autres disciplines. En particulier, il devient notamment nécessaire de mieux prendre en compte dans la formation la composante biologique et les processus écologiques mis en œuvre à différentes échelles dans le fonctionnement des agroécosystèmes (Doré, 2013), le bouclage des cycles biogéochimiques ou la complémentarité entre systèmes. Mais, plus qu'une évolution de connaissances à acquérir, il s'agit de mobiliser les concepts et outils de l'agronomie dans un nouvel état d'esprit et de favoriser de nouveaux modes de raisonnement. Il est important, pour les futurs acteurs du monde agricole :

– de comprendre les enjeux d'une agriculture durable, de la production à la consommation, et plus globalement les relations entre agriculture et société ;
– de préparer à la gestion des risques et des transitions et au pilotage dans l'incertitude ;
– et d'appréhender la diversité des ressources d'un territoire et des manières de produire, et de composer avec cette diversité pour rechercher le meilleur compromis conciliant les objectifs écologiques, économiques et sociaux variés selon les situations.

Cela passe aussi par davantage d'interdisciplinarité, notamment avec l'écologie, et par l'apprentissage d'un travail en groupe pour favoriser la concertation, la coconception et l'innovation. Plus que l'acquisition de nouveaux savoirs, l'approche agroécologique conduit à une modification des rapports aux savoirs à enseigner, car les réponses aux questions posées nécessitent un véritable travail de « problématisation-réflexion-décision », et la mobilisation de savoirs en situation (Gailleton et Moronval, 2013 ; Prévost et *al.*, 2018). Il s'agit de former davantage des « agriculteurs concepteurs » (Salembier, 2019).

Cela s'est traduit par exemple concrètement par une réforme assez significative des contenus agronomiques du BTSA ACSE (Analyse, conduite et stratégie de l'entreprise agricole), avec la création d'un module sur le fonctionnement d'un agroécosystème, introduisant pour la première fois l'écologie dans cette filière, mais aussi la création d'un module sur la construction d'un système biotechnique innovant. Ce module a pour finalité d'initier les apprenants aux démarches et aux méthodes permettant de concevoir des systèmes biotechniques. De même, la filière bac pro CGEA a été rénovée en profondeur avec un accent fort mis sur la gestion durable des ressources non renouvelables (module « Gérer de manière durable des ressources pour assurer la production de services au sein d'un agroécosystème »). À noter que dans cette formation, à l'initiative des inspecteurs d'agronomie, l'épreuve terminale a été fortement modifiée, passant de l'écrit à l'oral pour permettre aux candidats d'être interrogés sur des situations diverses et réellement vécues, centrées sur la notion de « ressources naturelles communes ». La notion de ressources communes est alors utilisée comme un élément-clé pour construire une approche durable de l'activité agricole. Elle permet de s'extraire d'une approche orientée quasi exclusivement sur les dimensions technico-économiques, à partir desquelles sont raisonnés les « itinéraires techniques » des systèmes de production, pour davantage inscrire son action dans une approche territoriale et environnementale incluant une dimension temporelle. Cette notion invite alors à s'inscrire dans une lecture et une analyse à différents niveaux des milieux cultivés et des espaces, et de porter une attention aux différents groupes d'acteurs parties prenantes dans la construction et la gestion de ces territoires (Degrange, 2017). Et par ailleurs, l'approche agroécologique interroge

fortement les démarches d'enseignement, du fait du « paradoxe de devoir enseigner des savoirs de référence, alors même que les contenus d'enseignement à aborder sont (en partie) instables » (Métral et *al.*, 2016 ; Prévost et *al.*, 2018). Les enseignants d'agronomie sont confrontés à des questions nouvelles : comment enseigner avec le vivant et non plus contre, comment aborder la complexité et la diversité, comment prendre en compte l'incertitude en phase de transition ? Le plan « Enseigner à produire autrement » a été mis en place pour accompagner ces changements importants, avec un volet concernant la rénovation des référentiels et un volet d'appui aux enseignants. Font partie des recommandations pour mettre en place un tel enseignement (Mayen, 2013) :

– éviter l'empilement de nouvelles connaissances, mais plutôt enseigner à utiliser des savoirs pour raisonner ;
– faire découvrir, notamment lors de séquences en milieu professionnel, des pratiques diversifiées et innovantes ;
– proposer des situations pédagogiques permettant aux élèves d'observer, de se poser des questions, d'imaginer, de penser, de tester, de faire des choix ;
– et favoriser le travail de groupe en facilitant les situations et les projets dans lesquels les élèves peuvent s'exprimer (atelier de coconception du module « Construction d'un système biotechnique innovant » du BTSA ACSE).

En formation continue, c'est aussi l'agroécologie qui est au cœur des évolutions du renforcement des capacités en agronomie. Dans la préparation à la qualification professionnelle pour l'installation en agriculture, une nouvelle rénovation du diplôme du BP REA (Responsable d'exploitation agricole) a eu lieu en 2017, et celui-ci « a été rénové dans une perspective agroécologique. Pour produire autrement, les futurs agriculteurs devront s'adapter à la complexité des systèmes de production et de décision. La prise en compte de l'incertitude et des changements permanents dans l'activité professionnelle demande de renforcer la formation à la diversité et à la relativité, de privilégier des approches comparées plutôt que l'application de modèles » (Document complémentaire du BP REA, DGER, 2017). Et, pour le cas des formations continues d'agriculteurs financées par le fonds de formation Vivea, les formations qui ont connu le plus de succès (en nombre de stagiaires) sur les thématiques « Multiperformance » et « Écophyto » en 2020 se positionnent en majorité dans une démarche agroécologique (Vivea, Observatoire de l'offre[13]) : « Produire des grandes cultures performantes et économes en intrants » ; « Choisir, mettre en place et valoriser les couverts végétaux » ; « Sécuriser son engagement MAEC-SPE-Pass MAEC Sécurisation » ; « En route vers la viticulture durable » ; « L'agronomie au service de l'agriculture intégrée » ; « Plus d'agronomie pour moins de phytosanitaires » ; « Optimiser les intrants sur les cultures : un compromis économique et sociétal » ; « Arrêt du glyphosate : adaptations agronomiques pour les systèmes fourragers et grandes cultures » ; « Optimisation des phytosanitaires et améliorer la vitalité des sols » ; « Vers le zéro phyto en grandes cultures » ; « Améliorer les performances environnementales des traitements phytosanitaires » ; « Optimisation de la pulvérisation et alternatives au glyphosate ».

Cette dernière période, toujours en cours, ne fait pas que confirmer l'engagement des systèmes de formation dans la prise en compte des enjeux environnementaux, car le défi actuel est de contribuer à la transformation nécessaire des systèmes de

13. https://vivea.fr/ressources/observatoire-de-loffre-multiperformance/ et https://vivea.fr/ressources/observatoire-de-loffre-ecophyto/ (données de novembre 2020).

production agricole pour faire face au changement climatique. Le paradigme de l'agroécologie, désormais affirmé au sein des organisations internationales comme la FAO, oriente cette transformation de l'agriculture à l'échelle mondiale, et les impacts sur les concepts et méthodes de l'agronomie, et donc de son enseignement, sont déjà évidents, mais ne sont encore pas tous connus. L'agronomie va devoir poursuivre son adaptation face aux nouvelles exigences sociétales (chapitre 6), et la formation, par sa proximité à la recherche et à la pratique professionnelle, sera contributrice à cette adaptation, comme lors des précédentes étapes.

⏩ La double dimension scientifique et technique, un atout de la discipline à valoriser

Les deux premières parties de ce chapitre ont mis en évidence le rôle de la formation dans la construction et le déploiement de l'agronomie en France. La dynamique observée depuis les années 1970 a permis de donner à la discipline agronomie presque tous les attributs des disciplines d'enseignement de l'enseignement général : un corpus conceptuel et méthodologique spécifique, une présence dans des curricula de formation de l'enseignement supérieur et secondaire, une spécialité académique d'enseignants-chercheurs et de professeurs certifiés de l'enseignement secondaire. Pour autant, ces acquis restent fragiles, nous l'avons vu, d'une part avec le mouvement permanent des objets d'enseignement auxquels l'agronomie doit s'intéresser pour prendre en compte l'évolution des demandes sociétales et les innovations en agriculture et, d'autre part, parce que l'agronomie reste encore majoritairement dans la sphère de l'enseignement sous tutelle du ministère chargé de l'Agriculture. Deux exemples sont révélateurs sur ce point : l'absence de section dédiée de la discipline agronomie au sein du Conseil national des universités (CNU) pour l'identification académique des enseignants-chercheurs en agronomie dans le système universitaire ; et la quasi-absence des concepts et outils de l'agronomie dans la construction des programmes et des manuels d'enseignement pour les formations sous tutelle du ministère chargé de l'Éducation nationale, sur les sujets qui traitent d'agriculture, d'alimentation et d'environnement. Un chemin reste donc à parcourir pour la discipline agronomie, comme d'ailleurs pour plusieurs autres disciplines de formation professionnelle qui ont une double dimension scientifique et technique.

La multiréférentialité des savoirs en agronomie, une exigence pour construire des savoirs de référence

L'analyse rétrospective de la façon dont la discipline d'enseignement agronomie a diffusé dans les formations donne à voir comment la double dimension scientifique et technique de l'agronomie, par la tension qu'elle crée entre la construction théorique et la confrontation au réel, engendre une obligation d'adaptation des contenus et des méthodes d'enseignement qui, en retour, nourrissent la discipline pour son évolution. La confrontation au réel n'est pas similaire dans l'enseignement supérieur et dans l'enseignement technique, ou dans la formation permanente des agriculteurs et dans celle des ingénieurs du développement, du fait de la proximité différente à la recherche, à la pratique agricole, et des objectifs de formation selon les métiers des personnes à former. Chaque sous-système de formation a pu ainsi contribuer à sa manière à l'évolution de la discipline.

Dans la formation initiale et continue des diplômés de l'enseignement supérieur, les compétences visées en ingénierie agronomique ont obligé à construire un corpus enseignable de concepts et de méthodes, orienté vers la capacité à diagnostiquer une situation agronomique et à proposer des solutions de gestion aux praticiens. Cela a amené à proposer des cursus de formation en agronomie axés sur les savoirs scientifiques, évoluant avec la diversification des objets d'étude et des métiers proposés aux agronomes, eux-mêmes dépendants des évolutions sociétales. Avec le recul, le continuum recherche-formation-développement a permis la construction et la consolidation des concepts et des méthodes de l'agronomie qui sont aujourd'hui opératoires pour répondre aux enjeux de la transition agroécologique.

Dans la formation initiale de l'enseignement technique agricole, la plus forte proximité avec les professionnels, mais aussi les politiques publiques, agricoles et éducatives, ont eu un effet paradoxal. D'un côté, les objectifs de formation des agriculteurs visant des compétences variées d'entrepreneur du vivant ont réduit la place disponible pour l'enseignement d'agronomie, ce qui a souvent obligé les enseignants à sélectionner les concepts et les outils les plus opératoires de la discipline en lien avec l'activité réelle de l'agriculteur en situation, au détriment de certains concepts clés du raisonnement agronomique. Ce fut le cas jusqu'à récemment de l'enseignement du concept de système de culture, manquant d'opérationnalité pour des praticiens ayant un raisonnement agronomique simplifié dans un contexte socio-économique d'agriculture à haut niveau d'intrants chimiques. De l'autre côté, la dynamique d'innovations pédagogiques dans l'enseignement technique agricole, s'appuyant à la fois sur les recherches en agronomie et en pédagogie, et la forte proximité avec les acteurs locaux dans les territoires des établissements d'enseignement agricole ont créé les conditions pour des échanges interdisciplinaires riches depuis les années 1980, en particulier entre agronomie, écologie, géographie, économie, mais également éducation socioculturelle, qui ont nourri l'agronomie. Nous pouvons citer ici la contribution de l'approche globale de l'exploitation agricole ou du diagnostic territorial, modules de formation généralisés plus précocement dans l'enseignement technique que dans l'enseignement supérieur. De même, la généralisation actuelle des démarches agroécologiques, tant dans les exploitations agricoles des lycées supports à la pédagogie que dans la rénovation de l'ensemble des diplômes, est une source d'échanges entre enseignants de l'enseignement supérieur et de l'enseignement technique[14], voire d'inspiration dans certains cas pour l'enseignement supérieur.

Malgré des différences d'évolution de l'enseignement d'agronomie dans les systèmes de formation, l'agronomie révèle son unité par le fait que c'est une discipline de formation d'ingénieurs et de techniciens pour accompagner les évolutions en agriculture, ce qui justifie le besoin de double intégration de savoirs, entre les savoirs scientifiques d'une agronomie au sens strict et ceux de l'agronomie au sens large, et entre les savoirs scientifiques et ceux d'autres rationalités (savoirs pratiques, savoirs sociaux), condition nécessaire à l'opérationnalité dans l'action. Son autre caractéristique est le fait d'être une discipline très mouvante, compte tenu des enjeux de société que représente l'agriculture en France et dans le monde, qui engendrent de nouvelles problématiques à traiter par les agronomes. Et dans un contexte de transition agricole (comme c'est le

14. Un exemple est la corédaction de l'ouvrage *L'Agronome en action : mobiliser concepts et outils de l'agronomie dans une démarche agroécologique* (Educagri Éditions).

cas en 2020 avec les transitions écologique, alimentaire ou numérique), où les innovations sont d'origine à la fois scientifique, professionnelle et citoyenne, la formation est le lieu où l'on interroge la nature des savoirs utiles aux agronomes (Meynard, 2016), ce que proposent les didacticiens de l'agronomie par leur approche pour la construction du savoir de référence de la discipline (figure 7.4).

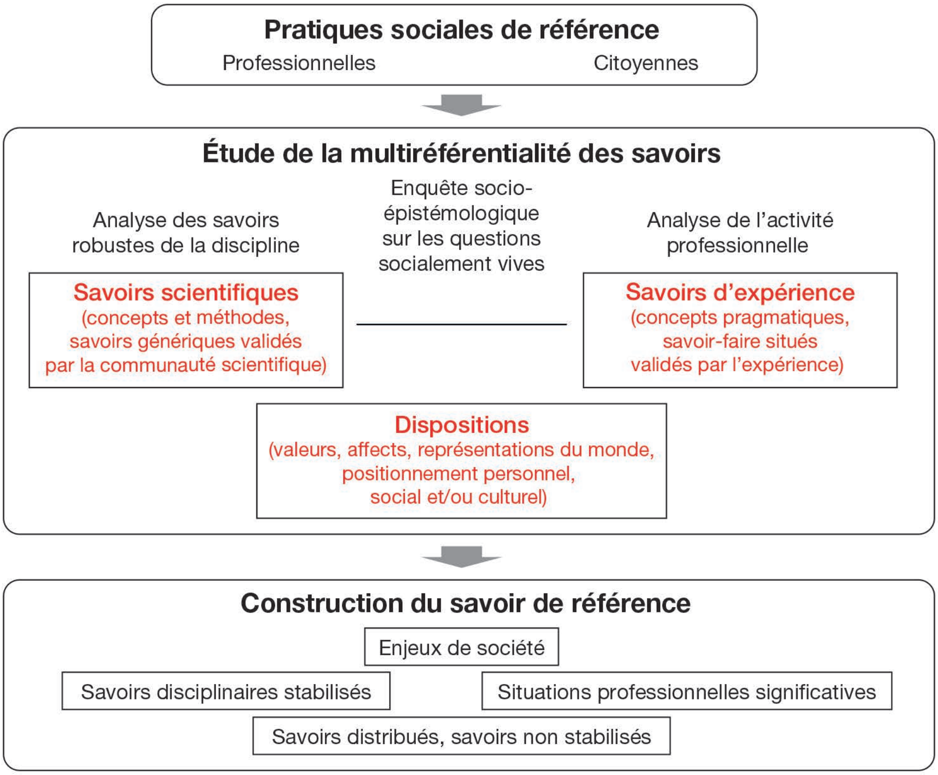


Figure 7.4. L'approche pluridisactique pour la construction d'un savoir de référence en agronomie (Prévost *et al.*, 2018).

L'opérationnalité des contenus d'enseignement, un souci permanent pour relier théorie et pratique

L'ensemble des chapitres de la première partie de l'ouvrage convergent pour affirmer que l'agronomie s'est construite en « science intégrée de l'action » (Cornu et Meynard, 2020), qui suppose pour l'enseignement une bonne articulation entre les savoirs scientifiques, les savoirs d'expérience et d'autres savoirs que nous avons nommés « dispositions » (Prévost *et al.*, 2018). Mais cette articulation en formation ne va pas toujours de soi, en particulier dans la formation des futurs agriculteurs et techniciens, dont la dimension technique du métier l'emporte sur la dimension scientifique. Dans l'enseignement technique agricole, des difficultés récurrentes sont en effet observées dans les pratiques des enseignants ou exprimées par ceux-ci (Gailleton, 2011). Quelques exemples permettent d'illustrer ce point. Un fait majeur

concerne le manque de liaisons entre les enseignements théoriques et pratiques sur le terrain. Une analyse de rapports contemporains de l'inspection pédagogique montre qu'assez fréquemment il est reproché aux enseignants de faire insuffisamment de terrain ou de ne pas intégrer les séances de travaux pratiques dans des séquences pédagogiques scénarisées. Dans la préface de l'ouvrage *L'Approche globale de l'exploitation agricole* (Bonneviale *et al.*, 1989), Sebillotte mettait déjà en garde sur les risques de diffusion d'une méthode sans que les enseignants s'approprient les connaissances théoriques qui la sous-tendent, et sur le danger que la forme prenne le dessus sur le fond. Cette dérive concernant l'approche globale a été constatée dans certains examens, où le schéma d'approche globale devient une norme. Bonneviale souligne que l'outil synthétique que représente le profil cultural, mis au point par Hénin dans son ouvrage de 1960, a été très vite déformé dans les années 1970 dans son utilisation avec les élèves pour devenir « un outil de "divination des différents passages d'outils effectués par l'agriculteur dans la zone observée" », et le fait que l'enseignant consciencieux, faute de formation pour appliquer les prescriptions, « montre à ses élèves la "semelle de labour" qu'il vient de sculpter ». De nos jours, il est encore fréquent que le profil cultural soit enseigné comme une fin en soi, mais pas comme un outil permettant de répondre à une question agronomique. Par ailleurs, si les concepts d'« itinéraire technique » ou de « processus de production » semblent avoir assez bien diffusé dans les différentes filières dès les années 1980, avec parfois une approche un peu trop analytique ou normative, nous avons précisé plus haut que le concept de « système de culture » pose plus de problèmes d'appropriation ou de mise en œuvre. Différentes enquêtes réalisées par la Bergerie nationale en 2010 et en 2012 soulignaient que peu d'approches « système de culture » étaient effectivement mises en œuvre par les enseignants ou les examinateurs, qui semblent privilégier l'échelle itinéraire technique ou restreindre la caractérisation d'un système de culture à la succession de cultures (Prévost et Martinand, 2016). Pour pallier le manque de ressources pédagogiques souvent évoqué par les enseignants pour caractériser et évaluer un système de culture, un ouvrage intitulé *Le Système de culture : concept d'agronome, objet opérationnel du décideur* a été rédigé par Benoît et Moronval sur cette thématique en 2018, à l'initiative de l'inspection et du réseau mixte technologique « Systèmes de culture innovants ». Plus globalement, le sénateur Potier, dans son rapport consacré en 2014 aux pesticides et à l'agroécologie, souligne les limites des postures descendantes de diffusion de la connaissance technique et scientifique et pointe également qu'en situation d'aléas climatiques, c'est-à-dire face à des situations non prévisibles, la volonté de décliner les pratiques multiformes des pionniers de l'agroécologie sous forme de bonnes pratiques standardisées ne peut qu'être mise à mal (Moneyron, 2016). Nous pouvons ainsi considérer que cet écart persistant entre les savoirs prescrits dans les référentiels de formation et les savoirs enseignés reste un indicateur de la difficulté d'un certain nombre d'enseignants avec la vision englobante de la discipline, le terme « agronomie » faisant toujours référence pour eux à l'étude du sol ou du milieu et aux « bases à acquérir ». Si cet écart existe dans toutes les disciplines de formation scolaire, pour différentes raisons (manque de maîtrise du corpus disciplinaire de certains enseignants, adaptation au niveau hétérogène des élèves et des classes, difficultés d'organiser des situations d'apprentissage à partir de situations réelles, etc.), il existe une difficulté particulière en agronomie lorsque les concepts et les méthodes enseignés n'ont pas paru opératoires dans la pratique professionnelle.

Ainsi, tant que les manières de faire de l'agriculteur n'avaient pas besoin du concept de système de culture pour raisonner l'usage des techniques et organiser sa pratique, les enseignants d'agronomie les moins armés dans la maîtrise de leur discipline ont pu fuir la difficulté en évitant de relier théorie et pratique dans leur enseignement. Ce lien théorie-pratique est pourtant l'enjeu majeur de la formation des futurs praticiens en agriculture, compte tenu de la forte évolution de l'origine sociale des élèves de l'enseignement technique agricole, avec de moins en moins d'enfants d'agriculteurs.

La démarche « compétence » en agronomie pour faire face à la diversité des situations professionnelles

Au-delà de l'interrogation sur la nature des savoirs dans l'enseignement et leur articulation, l'enjeu actuel et à venir dans la formation en agronomie concerne l'évolution des contenus d'enseignement et des démarches d'apprentissage pour faire face à la diversification des situations professionnelles dans les métiers d'agronomes, compte tenu de l'accélération des nouvelles problématiques à traiter. Les métiers d'agronomes sont en effet de plus en plus divers, avec de nouveaux métiers comme animateur d'ateliers de conception de systèmes de culture, animateur de plan alimentaire territorial, médiateur en agriculture-environnement. Envisager un répertoire de compétences pour tous ces métiers relève de la gageure, mais c'est le moyen de prendre en compte la double dimension scientifique et technique des activités de chacun des métiers. Un référentiel de compétences agronomiques au service de l'activité agricole serait ainsi utile pour que la formation aux métiers d'agronomes corresponde aux activités exercées par les agronomes en situation professionnelle, et ce d'autant plus que la diversité de l'offre de formation en France ne permet pas de s'assurer que tous les agronomes formés ont une équivalence dans leurs compétences. À l'heure du développement de l'approche par compétences dans tous les systèmes de formation, il devient ainsi important d'organiser les contenus d'enseignement en agronomie selon les apprentissages à prioriser pour l'exercice des métiers visés. Une proposition pourrait être de construire un référentiel de compétences en agronomie, en distinguant des catégories de compétences, en s'inspirant de référentiels proposés dans d'autres pays. Dans le cas du Québec, où il existe un ordre des agronomes[15], trois types de compétences sont concernés dans le référentiel :

– professionnelle, vue comme « la capacité de concevoir et d'agir avec efficience, de manière opportune et éthique dans le but de répondre à des situations professionnelles complexes en mobilisant ses propres ressources et celles de son environnement. La compétence professionnelle se situe aux croisements de trois pôles : l'agronome, le mandat qu'on lui confie et le contexte immédiat et présumé » ;

– contextuelle, qui « prend en considération le contexte, les pratiques, les principes et les savoirs qui régissent l'exercice professionnel dans un secteur d'intervention délimité » ;

– fonctionnelle, qui « renvoie aux différents champs de savoirs – connaissances, habiletés, attitudes, comportements – requis et pertinents à l'exercice de la profession d'agronome » (Conseil de l'Ordre des agronomes du Québec, 2021).

15. Au Québec, où le métier d'agronome (dont la signification est par ailleurs prise au sens large) est réglementé par un ordre professionnel, un *Référentiel des compétences initiales des agronomes du Québec* fait aujourd'hui référence (Conseil de l'Ordre des agronomes du Québec, 2021).

Cet exemple concerne essentiellement les métiers d'ingénieurs-conseil, alors qu'en France les compétences en agronomie concernent l'ensemble du secteur professionnel agricole, de la recherche en agronomie à la pratique agricole. Faut-il aller dans cette conception de référentiels avec une plus grande formalisation des compétences agronomiques pour chacun des métiers ? Ou doit-on distinguer les compétences agronomiques de base (maîtrise des principaux concepts et outils de la discipline en situation professionnelle) et les compétences agronomiques spécialisées à référencer par type d'emploi exercé ? Il nous semble que la réflexion sur l'adéquation entre la formation en agronomie et les compétences nécessaires aux métiers exercés est à engager par la communauté des agronomes, en lien avec les institutions de formation.

Cette réflexion sur les compétences et les métiers serait certainement à nourrir par une réflexion épistémologique qui doit aller bien au-delà des quelques travaux de recherche en didactique déjà menés depuis quelques années. L'enseignement de l'agronomie a besoin de cette réflexion, dans le contexte actuel que vit l'agronomie, rappelé par Cornu et Meynard (2020), « parce que l'âge de la modernisation comme chemin unique s'est achevé, et parce qu'il s'est achevé sur une forme d'impasse de la rationalisation, c'est à une diversité des chemins de transition que l'agronomie est invitée, au défi du transnational, du transdisciplinaire et de la tension entre les attentes diverses des acteurs des systèmes alimentaires. Dans le monde de la bioéconomie globalisée, l'agronomie ne se comprend décidément pas comme une île, mais comme une posture relationnelle et médiatrice de savoirs et de pratiques, plus que jamais nécessaire dans une phase historique caractérisée par l'extrême fragilité des équilibres écologiques, sociaux, économiques et politiques. Comme au siècle des Lumières, mais dans une tonalité rendue plus grave par l'importance cruciale des transitions à opérer, l'agronomie est invitée à repenser un holisme maîtrisé et responsable ». Comment l'enseignement peut-il prendre en charge cette approche holistique, maintenant que l'approche systémique développée depuis les années 1970 est de mieux en mieux maîtrisée par les agronomes ?

Comprendre et agir avec le vivant : des savoirs agronomiques pour tous ?

L'agronomie est encore principalement une discipline de formation professionnelle des ingénieurs et des techniciens en agriculture, même si elle fait partie des disciplines contributrices à un enseignement de spécialité en classe de seconde générale et en baccalauréat technologique dans les lycées agricoles. Mais, au-delà de la sphère agricole, nous nous demandons légitimement si les savoirs agronomiques ne devraient pas plus facilement diffuser dans la formation de tous les citoyens, pour permettre à ces derniers de comprendre « l'action de cultiver », à une époque où les manières de produire en agriculture font l'objet de tensions entre le monde professionnel agricole et les citoyens-consommateurs. En effet, dans l'enseignement général, les objets d'étude des agronomes se retrouvent régulièrement dans les programmes de l'enseignement secondaire, que ce soit en biologie (la gestion des ressources naturelles), en géographie (la question alimentaire) ou en économie (les modèles d'agriculture, les marchés agricoles, etc.). Certains concepts sont ainsi communs avec ceux de l'agronomie : sol, biodiversité, agrosystème, système alimentaire, territoire. Mais l'usage de ces concepts dans les disciplines de l'enseignement général ne prend pas en compte la dimension technique de l'action de cultiver. Et cette dimension n'est pas non plus

présente dans l'éducation à l'environnement et au développement durable (EEDD) (Prévost, 2013). Cette absence s'explique principalement par la méconnaissance des disciplines biotechniques (agronomie, zootechnie, foresterie, etc.) au sein du système d'enseignement général, qui ne permet pas de traiter la question technique dans toute sa complexité, avec son contexte, ses usages et ses impacts dans les activités.

Compte tenu de l'enjeu sociétal actuel de partage des connaissances sur la gestion du vivant par l'agriculture, l'apprentissage du raisonnement agronomique dans sa double dimension scientifique et technique pourrait permettre à tout citoyen de comprendre le fonctionnement d'un agroécosystème et de mieux appréhender l'action de l'agriculteur dans sa recherche de compromis entre des objectifs écologiques, économiques et sociaux. Cela supposerait alors que des enseignants d'agronomie soient invités à partager leur expérience pour proposer des situations de formation où la compréhension du système vivant et l'action sur ce système constitueraient un même objectif d'apprentissage. À l'heure de l'enrichissement des situations de formation par les outils numériques (cours en ligne, jeux sérieux, outils d'apprentissages immersifs, etc.), les agronomes pourraient ainsi contribuer à la diffusion de leurs concepts et outils bien au-delà des publics actuels.

⏩ Conclusion

En France, le terme « agronomie » comme discipline scientifique et technique a dû s'affirmer face à certains vents contraires, du fait de la confusion longtemps entretenue entre, d'une part, enseignement d'agriculture et enseignement d'agronomie et, d'autre part, agronomie au sens large et agronomie au sens strict. Mais l'effort d'organisation conceptuelle et méthodologique pour son enseignement à partir des années 1970, effectué au sein de l'enseignement supérieur, a permis de relier la théorie et la pratique en agriculture, source d'opérationnalité des contenus d'enseignement pour la formation d'ingénieurs et de techniciens. La discipline a connu alors une académisation progressive, avec son corpus conceptuel et méthodologique affirmé, la création de corps d'enseignants spécialisés en agronomie, de contenus d'enseignement et de méthodes pédagogiques originales pour le besoin de construction de connaissances et de compétences nécessaires à la compréhension de la complexité du vivant et à sa gestion, et récemment un champ de recherche en didactique et des premières réflexions sur l'histoire de la discipline. Aujourd'hui, nous pouvons convenir que l'agronomie est une discipline d'enseignement au cœur de l'identité de l'enseignement agricole français.

Pour autant, l'évolution permanente des défis posés à l'activité agricole, la transformation des pratiques de recherche et de développement vers la coproduction et le partage de nouveaux savoirs (chapitres 5, 6 et 8), et les difficultés récurrentes pour l'enseignement d'agronomie (dans la stabilisation du savoir à enseigner et dans son adéquation à la diversité des situations professionnelles et sociales) suggèrent d'aller plus loin dans la place et le rôle donnés à la formation pour la poursuite de la construction de la discipline agronomie. Nous voyons au moins trois axes de travail pour la communauté des agronomes et les institutions de recherche-formation-développement dans les années à venir :
– l'engagement d'une réflexion épistémologique permettant d'interroger les fondements des savoirs en agronomie, leur construction et leur valeur, pour expliciter ce que nous appelons dans cet ouvrage la double dimension scientifique et technique de

l'agronomie, mais aussi pour donner aux agronomes un cadre de pensée pour réfléchir aux évolutions de la discipline et à son rayonnement dans la formation des acteurs professionnels, mais aussi des citoyens ;
– le positionnement de l'agronomie dans les fronts de recherche actuels sur les transitions en cours impactant les systèmes agricoles et alimentaires, à la fois par l'analyse de son corpus conceptuel et méthodologique stabilisé et en construction, et par l'analyse de ses relations aux autres disciplines d'enseignement, afin d'anticiper les évolutions des savoirs à enseigner et leur organisation dans les différents systèmes de formation ;
– la poursuite de l'effort de capitalisation des savoirs agronomiques et de leur transposition didactique adaptée aux différents publics à former en agronomie, pour donner aux enseignants et formateurs le soutien nécessaire à la construction des capacités des apprenants leur permettant de comprendre et d'agir avec le vivant dans les activités agricoles.

Cette proposition programmatique peut paraître très ambitieuse pour une discipline d'enseignement qui ne concerne que quelques milliers d'apprenants en France. Mais ne faut-il pas avoir cette ambition, compte tenu de ce que représentent en France et dans le monde les enjeux de production agricole et alimentaire dans un contexte de raréfaction des ressources naturelles et de changement climatique ? Et, par ailleurs, ce travail pourrait servir beaucoup d'autres disciplines qui ont, comme l'agronomie, cette double dimension scientifique et technique dans tous les métiers de l'ingénierie.

⏩ Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Classées chronologiquement, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Gasparin A. De, 1848. *Cours d'agriculture, tome 1*. La maison rustique, Paris. https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k65663622/f11.item

Lasnier-Lachaize L., 1945. *Sommaire d'agronomie à l'usage des instituteurs*. Éditions Flammarion.

Loi du 2 août 1960 relative à l'enseignement et à la formation professionnelle agricole, http://www.admi.net/jo/loi60-791.html

Sebillotte M., 1977. Programmes d'enseignement et de recherches pour la chaire d'agronomie. INA P-G.

Sebillotte M., 1979. Note sur le laboratoire d'agronomie de Grignon. Réunion du département Agronomie (Inra), 23-24 octobre 1979. Doc. ronéoté, 18 p. + annexes.

Teissier J.-H., 1979. Relations entre techniques et pratiques, Conséquences pour la formation et la recherche. *Bulletin Inrap*, 38, Dijon, 13 p.

Bonneviale R., 1985. Les manuels d'enseignement agricole témoin de l'évolution des disciplines scolaires, contribution au colloque de janvier 1985 « Enseignements agricoles et formations des ruraux », *Bulletin Inrap*, 62, recueil des contributions de l'Inrap, Dijon, 115-119.

Boulet M., 1998. L'enseignement agricole d'une loi d'orientation à l'autre 1960-1998. Conférence à la journée d'étude de la FSU pour le cent cinquantenaire de l'enseignement agricole, 25 mars 1998. Consulté sur L'école des paysans, http://ecoledespaysans.over-blog.com/2019/01/l-enseignement-agricole-d-une-loi-d-orientation-a-l-autre-1960-1998-1998.html.

Caneill J., Ney B., Wery J., Leterme P., 2001. Quel enseignement en agronomie pour les établissements d'enseignement supérieur du ministère de l'Agriculture et de la Pêche ? *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 87 (4), 277-288.

Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (coord.), 2006. *L'Agronomie aujourd'hui*. Éditions Quae, Versailles.

Sebillotte M., 2006. Penser et agir en agronome. *In : L'Agronomie aujourd'hui* (Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J., coord.). Quae, Versailles, 1-21.

Bonneviale J.R., Marshall É., 2012. L'apport de Michel Sebillotte à l'enseignement technique agricole. *In* : *Penser et agir en agronome, hommages à Michel Sébillotte* (Boiffin J., Doré T., coord.). Éditions Quae, Versailles, p. 67-71.

Gailleton J.-J., Moronval J-R., 2013. Comment la formation en agronomie dans l'enseignement technique agricole fait face à l'évolution des besoins de compétences des agriculteurs. *Agronomie, environnement & sociétés*, 3 (2), 49-59.

Leclercq C., Urbano G., Kockmann F., 2013. Retour sur la formation « Relance Agronomique » des années 80 : quel bilan ? *Agronomie, environnement & sociétés*, 3 (2), 109-117. http://agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/revue-aes-vol3-n2-decembre-2013-conseil-et-formation-en-agronomie-adaptation-aux-nouveaux-defis-de-lagriculture/revue-aes-vol3-n2-14/

Prévost P., Le Bail M., Nicolardot B., Leclercq C., 2013. Comment la formation des ingénieurs en agronomie évolue pour faire face à la diversité des objets et des outils de l'agronomie ? *Agronomie, environnement & sociétés*, 3 (2), 59-73.

Cancian N., Prévost P., Chrétien F., Simonneaux L., Olry P., Métral J.F., David M., 2016. Les savoirs agronomiques dans les itinéraires de conception de référentiels de diplômes – Comment sont pris en compte les nouveaux enjeux sociétaux et les savoirs émergents ? Et quels rôles pour les agronomes ? *Agronomie, environnement & sociétés*, 6 (2), 151-167.

Collectif, 2016. *L'Agronome en action : mobiliser concepts et outils de l'agronomie dans une démarche agroécologique*. Educagri Éditions, 357 p.

Prévost P., Métral J.F., Simonneaux L., Cancian N., Chrétien F., David M., Olry P., 2018. Approche plurididactique pour l'élaboration curriculaire dans l'enseignement des sciences techniques en formation professionnelle : propositions à partir de l'exemple de l'agronomie. *Éducation et didactique*, 12 (2), 53-71, https://doi.org/10.4000/educationdidactique.3248

Cornu P., Meynard J.M., 2020. Pour une épistémologie historique de l'agronomie française. *Agronomie, environnement & sociétés*, 10 (2), 27-43.

Chapitre 8

Contribution du système de développement agricole à la dynamique de l'agronomie

François Kockmann, André Pouzet

Le développement agricole caractérise généralement un processus de transformation de l'agriculture se situant au carrefour entre la recherche et la formation, lieux de création de connaissances théoriques, génériques, et l'agriculture, lieu de leur mise en application à la diversité des situations locales. En France, depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, les activités de développement agricole soutenues par les pouvoirs publics sont portées par un ensemble d'acteurs au service d'un projet global, décliné différemment selon les réseaux et les institutions qui ont impacté le développement de l'agronomie. La complexité de cet ensemble fait qu'il paraît pertinent, pour en décrire la dynamique d'évolution et en analyser les transformations, de retenir la notion de système de développement agricole, marqué par une forte interaction et une répartition des tâches entre acteurs. Il se caractérise par une diversité des métiers impliquant l'agronomie : ingénieurs et techniciens exercent pour les uns un métier d'agronome généraliste ou spécialisé, pour les autres un métier à double compétence, en agronomie et en machinisme, zootechnie ou commercial, et pour certains un métier centré sur le conseil global d'exploitation ou d'entreprise, en particulier lors des étapes clés du cycle de vie d'une exploitation. Selon les régions et leur(s) orientation(s) dominante(s) et selon les types d'exploitations, spécialisées ou mixtes, l'agronomie est portée auprès des agriculteurs par un pool très varié d'acteurs et de métiers. Lorsque nous évoquons « les agronomes », il s'agit des métiers d'agronomes généralistes ou spécialisés, mais nous revenons à plusieurs reprises sur les rôles assumés par les autres métiers.

La visée recherchée dans ce chapitre est de mettre en relief la contribution du système de développement agricole à l'extension et à l'enrichissement de l'agronomie entre 1945 et 2020, en explorant comment les agronomes ont mobilisé l'agronomie en constante évolution et comment, en retour, ils ont contribué à cette dynamique. Notre analyse porte surtout sur l'évolution de l'agronomie dans le secteur de la grande culture, plus marginalement dans celui des cultures fourragères.

Dans une première partie, nous décrivons, en séquençant le récit en cinq périodes, les principales évolutions institutionnelles du système de développement agricole, le contexte général et les faits marquants pour les agronomes (enjeux, questions posées,

sujets abordés et actions significatives entreprises). Le récit par période nous permet dans une seconde partie de caractériser les principales dynamiques vécues entre 1945 et 2020. Orientés vers l'action (Sebillotte, 1974), les agronomes du système de développement agricole donnent au diagnostic agronomique un rôle central : il constitue le socle des différentes fonctions révélées par la diversité des actions mises en œuvre. Pour analyser leur contribution à l'enrichissement de l'agronomie, nous examinons dans une troisième partie, pour chacune des fonctions préalablement définies, l'évolution des pratiques (concepts, méthodes, outils) et les réalisations concrètes avec une illustration par des exemples contextualisés.

Transformations du système de développement agricole et faits marquants

En préalable, nous identifions les principaux acteurs du système de développement agricole, limités aux acteurs opérationnels, regroupés en quatre catégories selon leur statut et leur mode de financement, en précisant l'évolution des structures et des sigles au cours de la période étudiée dans l'encadré 8.1. L'État a un positionnement singulier : acteur opérationnel de 1945 à 1960, il assume un rôle stratégique majeur durant toute la période étudiée par la mise en œuvre des politiques publiques, que nous évoquons sans les développer (chapitre 9).

Encadré 8.1. Les acteurs du système de développement agricole et ses partenaires

Ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement et leurs directions générales

– Départemental/DSA : Direction des services agricoles (1945-1959) devenant DDAF, Direction départementale agriculture et forêt jusqu'en 2007-2010, alors DDT, Direction départementale des territoires.

– Régional/DRAF : Direction régionale agriculture et forêt (1984-2007), puis depuis 2008, Draaf, Direction régionale alimentation, agriculture et forêt. Parallèlement, Diren : Direction régionale de l'environnement (1991-2008), puis depuis 2009, Dreal : Direction régionale environnement, aménagement et logement. Par ailleurs, les agences : Ademe, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (créée en 1991), aujourd'hui Agence de la transition écologique ; agences de l'eau, créées en 1964 (bassins Adour-Garonne, Artois-Picardie, Loire-Bretagne, Rhin-Meuse, Rhône-Méditerranée et Corse) ; Agence de la biodiversité (créée en 2017).

– ONIC : Office national interprofessionnel des céréales.

Les quatre catégories d'acteurs opérationnels

1. Chambres d'agriculture

– APCA : Assemblée permanente des chambres d'agriculture, départementale et régionale.

– SUAD : Services d'utilité agricole et de développement, créés en 1966.

2. Instituts techniques agricoles

– ACTA : Association des instituts techniques agricoles, créée en 1956.

– Cetiom : Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains, créé en 1957. Il fusionne avec l'Institut technique du chanvre (ITC) en 2011 et

devient Terres Inovia en 2015 par fusion avec la section technique de l'Union nationale interprofessionnelle des protéagineux (UNIP).
– ITAB : Institut technique de l'agriculture biologique, créé en 1982.
– ITB : Institut technique de la betterave, créé en 1944.
– ITCF : Institut technique des céréales et des fourrages, créé en 1959. Devient Arvalis-Institut du végétal en 2002, par fusion avec l'AGPM-Technique (maïs). Il fusionne en 2008 avec l'Institut technique de la pomme de terre (ITPT), puis avec l'Institut technique du lin en 2011.
– ITEB : Institut technique de l'élevage bovin, créé en 1962. Devient l'Institut de l'élevage (IE) par fusion en 1991 avec l'Institut technique de l'élevage ovin et caprin (Itovic), puis Idèle en 2016.

3. Organismes nationaux à vocation agricole et rurale (Onvar) et leurs fédérations, dont :
– CETA : Centres d'études techniques agricoles, créés en 1944.
– Civam : Centres d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural, créés en 1961.
– CUMA : Coopératives d'utilisation de matériel agricole, créées en 1945.
– GDA : Groupe de développement agricole (au sein des chambres d'agriculture).
– GEDA : Groupes d'études et de développement agricoles, créés en 1976.
– GVA : Groupements de vulgarisation agricole, créés en 1959.

4. Organismes d'approvisionnement et de collecte (OAC)
– Uncaa : Union nationale des coopératives agricoles d'approvisionnement, fondée en 1945, devient InVivo par fusion avec Sigma en 2001.
– Uncac : Union nationale des coopératives agricoles de céréales, fondée en 1945, devient Sigma en 1990.

Notons qu'au-delà de l'État, d'autres acteurs stratégiques, tels que les industries phytopharmaceutiques, agroalimentaires et en agroéquipements, interfèrent sur l'évolution de l'agriculture et donc sur le développement agricole.

Pendant le même temps, l'agriculture subit de très fortes évolutions structurelles :
– le nombre d'exploitations est en forte régression : 2 300 000 en 1955, 663 800 en 2000, 514 000 en 2010 en France, sachant qu'en première évaluation, il est de 389 000 en métropole en 2020 ;
– en corollaire, leur agrandissement, illustré par l'évolution de la surface agricole utile moyenne par exploitation, se traduit ainsi : 19 ha en 1970, 42 ha en 2000 et 69 ha en 2020. Par ailleurs, les formes d'organisation sociétaire sont en fort développement, notamment les groupements agricoles d'exploitation en commun et les exploitations agricoles à responsabilité limitée ; une autre tendance est l'affirmation du rôle des femmes : 8 % des chefs d'exploitation en 1970, 27 % en 2010 ;
– la productivité du travail évolue en indice de 100 à 545 : un agriculteur nourrissait 3 personnes en 1970, contre presque 30 en 2018 ;
– entre 1950 et 2010, l'agriculture sur le territoire national régresse de 34 millions à 29 millions d'hectares, les pertes de terre, initialement au profit de la forêt, sont ensuite liées à l'urbanisation ; les terres arables évoluent légèrement, de 19 millions à 18 millions d'hectares, alors que les prairies permanentes régressent de 13 millions à 9,5 millions d'hectares, et que les autres cultures spécialisées s'effondrent (– 70 %).

Ces quelques chiffres, issus du Recensement général agricole (1955, 2010, 2020)[1] et de l'APCA (2019), masquent une forte variabilité interrégionale, mais traduisent bien le fait que le système de développement agricole a dû s'adapter à ces évolutions impressionnantes, doublées d'une forte évolution de la qualification des agriculteurs (chapitre 7).

De 1945 à 1959 : la vulgarisation, c'est d'abord et surtout la diffusion

Dans l'immédiat après-guerre, l'ambition politique est de relancer la production agricole pour couvrir les besoins alimentaires de la population. L'État identifie, en prenant en compte les limites des départements, 713 petites régions agricoles homogènes (milieux naturels et exploitations), une base structurante pour la diffusion du progrès par les ingénieurs des directions des services agricoles, qui succèdent aux professeurs d'agriculture pour porter « la bonne parole » auprès des agriculteurs dans les foyers de progrès agricole (ultérieurement les Civam) et les réseaux d'écoles ; ils sont proches des CUMA et des CETA (Gerbaux et Müller, 1984). Les organismes d'approvisionnement et de collecte assurent la logistique (engrais, semences et collecte). En 1959 paraît le décret relatif à la vulgarisation agricole, qui « a pour objectif la diffusion des connaissances techniques, économiques et sociales nécessaires aux agriculteurs », alors que les organisations professionnelles se sont structurées pour en assumer la dynamique générale. En agronomie, deux problématiques, l'augmentation des rendements et l'aménagement des structures, sont alors posées.

Pour améliorer les rendements, la diffusion porte sur les recettes simples souvent importées des pratiques observées aux États-Unis, en Angleterre ou aux Pays-Bas, ou issues du repérage des bonnes pratiques sur les parcelles où les meilleurs rendements ont été observés. Le levier potentiel le plus efficace concerne les engrais de fond en consolidant les références déjà acquises par les fabricants (Gros, 1957). Les supports de vulgarisation reposent sur des visites commentées, de multiples démonstrations locales (champs d'essais, expérimentations), l'organisation de concours cantonaux ou départementaux dont les résultats alimentent les journaux locaux (Rufin, 1950) ainsi que la radio, efficace. La visée est de rechercher la « vulgarisation de masse », par opposition à la « vulgarisation individuelle », explorée par l'Association générale des producteurs de blé et autres céréales à paille, qui initie des services techniques en expérimentant une méthode de conseil auprès des agriculteurs dans les villages-témoins (Pesche, 2007).

Les CETA, groupes fermés portés par des agriculteurs très motivés par le progrès, testent localement les préconisations et abordent des questions agronomiques nouvelles. Ainsi dans le bassin lyonnais, dès 1947, sous l'impulsion de la fédération des producteurs de lait, est expérimentée en CETA une réelle rupture dans les pratiques avec le retournement massif des prairies permanentes au profit des cultures fourragères artificielles (Chazal et Dumont, 1955). Parfois qualifiée d'élitiste, la démarche des CETA répond à la volonté d'une grande partie des jeunes agriculteurs et de migrants. La dynamique de groupe devient le moyen de solliciter directement les chercheurs de l'Inra et de mettre en place leurs propres moyens d'acquisition de références, applicables à leur contexte spécifique, mais difficiles d'accès pour les non-adhérents.

1. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste

Sur le créneau particulier de la mécanisation, les CUMA, créées avant la guerre, contribuent également à une dynamique de groupe moins élitiste, mais très efficace (Lefèvre, 1996). Pour la majorité des agriculteurs, les actions de diffusion, essentiellement démonstratives, restent donc de type « descendant », avec une réflexion individuelle et collective limitée.

Les différentes filières créent progressivement, avec le soutien de l'État, des instituts spécialisés (ITA) pour mieux prendre en compte les problèmes techniques propres à chaque type de production.

L'aménagement des structures se fait sous la responsabilité de l'État, qui supervise les travaux des Commissions communales d'aménagement foncier : la restructuration foncière par les remembrements vise à rechercher prioritairement une géométrie des parcelles répondant aux exigences de la mécanisation pour augmenter la productivité, et entraîne une profonde modification des paysages agricoles, variable toutefois selon les régions (Philippe et Polombo, 2009). Les compagnies d'aménagement, telles que celle des coteaux de Gascogne, interviennent à l'échelle de bassins-versants pour améliorer le potentiel des milieux naturels.

De 1960 à 1981 : la structuration du modèle de développement, diffusionniste, orienté vers l'intensification

Avec le décret de 1959, la profession agricole veut diffuser le progrès en le rendant accessible à tous les agriculteurs : la stratégie repose sur la généralisation d'une démarche inspirée par la réussite des CETA, encourageant le regroupement des agriculteurs au sein de groupes de vulgarisation agricole. En 1962, la mise en place de la politique agricole européenne (PAC) amène les pouvoirs publics à amplifier les efforts de compétitivité de l'agriculture française en intervenant principalement sur l'évolution des structures sociales (transmission des exploitations entre générations, GAEC, groupements de producteurs) et des paysages (remembrement puis drainage). Parallèlement, les actions de communication sur le terrain se diversifient et se multiplient localement en complément des articles dans les journaux agricoles ou dans les publications des instituts et des filières, et ces dynamiques orientent les agriculteurs dans une démarche d'intensification. En 1966, un décret acte que « le développement agricole a pour objet la diffusion des connaissances techniques, économiques et sociales nécessaires pour améliorer la productivité des exploitations et élever le niveau de vie des exploitants » et, par ailleurs, « les actions de développement agricole ont pour objet la recherche appliquée, la diffusion des connaissances et une prise de conscience des problèmes ». Le développement agricole est mis en place dans le cadre d'une cogestion entre la profession agricole et l'État, concrétisée par la création de l'Association nationale pour le développement agricole (ANDA) et celle des services d'utilité agricole et de développement au niveau départemental. La visée générale est la modernisation de l'agriculture : le développement agricole se structure alors avec une architecture descendante et sectorielle, dénommée « la chaîne du progrès » (Evrard et Vedel, 2003). Il en résulte une logique diffusionniste renforcée, verticale, dominante, allant de la recherche aux praticiens. Les messages techniques sont mis en discussion dans les groupes locaux : outre les CETA, GVA, CUMA déjà cités et les Centres d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural (Civam), les chambres d'agriculture créent des Comités régionaux de développement agricole au niveau des petites

régions agricoles, qui renforcent la proximité avec les adhérents. Les groupes sont des lieux d'échanges d'expériences et de résultats d'expérimentation, d'émergence de projets et de voyages. Dès sa fondation, le développement agricole constitue un objet de tensions entre les différentes sensibilités de la profession agricole : la conception du développement, qui lie l'augmentation de la productivité du travail agricole à la promotion sociale des exploitations familiales, est concurrencée par un modèle plus entrepreneurial, insistant sur la spécialisation (Brunier, 2018). Toutefois, l'État et la profession dans ses différentes composantes confortent la dynamique d'intensification des productions par l'augmentation des rendements, la modernisation des exploitations et l'aménagement des structures.

Afin d'accroître les rendements, les expérimentations multilocales pour évaluer les performances des intrants se multiplient, la moyenne des résultats fait alors référence. Parallèlement, des études sont conduites en milieu contrôlé pour mieux définir les périodes sensibles des cultures aux aléas climatiques ou aux carences imputables aux éléments minéraux. Les CETA poursuivent leur coopération avec la recherche, comme en témoigne celui de Romilly avec l'INA P-G. Les enquêtes culturales, réalisées après récolte, identifient les techniques impactant le rendement et restent la base de la diffusion des organismes de développement, notamment des organismes d'approvisionnement et de collecte. Dès 1978, à la suite de trois campagnes de fortes attaques parasitaires sur le blé, l'ITCF, l'ANDA et l'ONIC initient les opérations « blé-conseils », recherchant l'intensification en estimant que le faible impact des actions du développement agricole réside dans la communication : les conseils sont alors déclinés par toutes formes « modernes » de diffusion, créant un flux d'informations surtout descendantes, même si lors de travaux de groupe elles peuvent être discutées, vérifiées. Après la mise en marché du paraquat, la simplification des travaux du sol, objet d'expérimentations anglaises (Hénin, 1980c), est posée par l'ITCF et l'Inra qui explorent ce thème. En fin de période, certains conseillers en agronomie, formés au centre de Trie-Château, sensibilisés aux premiers outils de la démarche clinique, profil cultural et tour de plaine, l'expérimentent, notamment lors des visites d'essais avec des groupes d'agriculteurs.

Les investissements font l'objet de plans de développement, instrument majeur de la politique de modernisation proposé par l'Europe. Les conseillers, principalement en chambres d'agriculture et centres d'économie rurale, accompagnent les agriculteurs dans les transformations de leurs exploitations : agrandissement, restructuration foncière, artificialisation du milieu dans un contexte de spécialisation régionale. L'orientation céréalière avec la suppression des prairies pose la question des références sur les successions de culture à mettre en place : choix et conduite des cultures, effets précédents, localisation, etc. Dans les exploitations d'élevage, c'est la proportion de prairies permanentes dans la sole fourragère qui est en question avec le développement des cultures pour ensilage, maïs et/ou ray-grass (Hinault et Pflimlin, 1981).

Les remembrements, en pleine expansion, se poursuivent sous le contrôle de l'État. Par ailleurs, l'ONIC, en associant la recherche, met en place des secteurs de références sur le drainage afin de formaliser des recommandations sur les modalités technologiques pour drainer les différents sols (Favrot, 1987).

De 1982 à 1992 : le modèle diffusionniste et l'intensification, sources de questionnements

C'est par les États généraux du développement que s'ouvre la période : les interrogations sur le modèle diffusionniste, qui ne touche que 15 à 25 % des agriculteurs selon les petites régions agricoles, l'équilibre entre un pilotage par les filières et un développement local, centré sur le territoire, la reconnaissance de la diversité des exploitations et des voies de développement sont au cœur des débats. Par ailleurs, la volonté de susciter un carrefour fédérateur entre les différents acteurs de la fertilisation (recherche, développement, acteurs économiques, pouvoirs publics, enseignement) se concrétise par la création du Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée (Comifer). Au niveau économique, l'agriculture, devenue exportatrice de céréales, est confrontée à une surproduction structurelle : outre la mise en place des quotas laitiers en 1984, un Comité national extensification-diversification explore cette voie de développement en élevages herbivores ; en grandes cultures, où la maîtrise de la production est assurée par le gel de terres, l'intensification des surfaces laissées en culture reste en vigueur. Le Comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates, les phosphates et les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles (Corpen), créé en 1984, alerte sur les enjeux de la pollution des ressources en eau. L'État laisse la maîtrise d'ouvrage des remembrements aux Conseils généraux en 1983. Dans ce contexte où l'intensification reste prégnante, mais source de questions, quelles sont les actions marquantes des agronomes ?

Pour corriger les limites du modèle diffusionniste et maintenir l'objectif du progrès pour tous, la démarche blé-conseils, élargie au maïs, sera mise en pratique durant dix ans. En 1983, l'ITEB, conscient des marges de progrès potentiels liées à la valorisation des prairies, initie les opérations locales « Fourrages Mieux » en prenant en considération la diversité des exploitations et des profils d'éleveurs et en reconnaissant leurs savoir-faire locaux (Madeline, 1985). C'est aussi sur la reconnaissance de la pertinence des savoirs pratiques des agriculteurs qu'est fondé le Groupe d'expérimentation et de recherche : développement et actions localisées (Gerdal), pour renforcer les capacités d'initiative des groupes professionnels locaux, mobilisés autour de projets, en facilitant l'émergence de solutions négociées entre pairs, le conseiller ayant plus une fonction d'animateur offrant une aide méthodologique que d'expert (Darré, 1994). C'est aussi la période d'affirmation de la démarche clinique en agronomie, qui offre une meilleure valorisation dans la diffusion des références auprès des agriculteurs : la présentation d'éléments explicatifs (effets des milieux et des pratiques) complète les résultats d'expérimentations ou d'enquêtes. Toutefois, au-delà de ces différentes expériences, le modèle dominant reste diffusionniste.

En grandes cultures, l'intensification bat son plein : c'est l'émergence des « Clubs des 100 quintaux en blé » et la création des réseaux OptiCoop, avec le développement des diagnostics foliaires et des tests Elisa, signaux de la prise en compte de l'agronomie ; l'Union nationale des coopératives agricoles d'approvisionnement coopère avec l'Inra pour le contrôle biologique de la pyrale du maïs. Outre le thème de la fertilisation azotée, les ITA travaillent sur les besoins en phosphore et en potassium dans la rotation. Le Cetiom lance l'opération « Tournesol 86 » afin de développer cette culture

en dehors des zones traditionnelles de production. En 1988, État et APCA créent le Comité Potentialités, en rupture avec les démarches prônant l'intensification, avec l'appui de l'Inra.

Suite au Comifer, dont la visée est le développement et l'amélioration des pratiques en élaborant et en diffusant des références et méthodes validées collectivement, le « plan de fumure global à l'échelle de l'exploitation » est formalisé par une équipe régionale (Calizano *et al.*, 1987). La spécialisation des exploitations agricoles et leur agrandissement sont souvent associés à l'artificialisation des milieux, notamment le drainage, en pleine expansion (Trouche, 2014). Il ouvre un champ de questions relatives à sa valorisation : quelles adaptations dans le choix des cultures, des itinéraires techniques, de l'organisation du travail et des assolements ? Quels impacts sur le système fourrager en exploitation d'élevage ?

Au niveau territorial, les collectivités engagent une concertation avec le monde agricole pour l'épandage sur les parcelles agricoles des boues urbaines et autres sous-produits industriels. Les agronomes des chambres d'agriculture participent, avec l'Inra et l'Ademe, à l'acquisition des références nécessaires pour la négociation des règles de gestion de ce service à la société. Les premières opérations locales agro-environnementales en faveur des espaces sensibles et l'entretien des paysages apparaissent, elles feront l'objet d'évaluations (Steyaert et Papy, 1999). En fin de décennie, la présence des nitrates d'origine agricole dans les ressources en eau fait entrer de nouveaux acteurs dans la gestion des problématiques agricoles : outre l'État, les agences de bassin, les conseils généraux et régionaux. Les agronomes, principalement ceux des chambres d'agriculture, sont confrontés aux diagnostics à l'échelle des bassins-versants ; des connexions étroites avec les hydro(géo)logues sont nécessaires et déterminantes pour expliquer et prendre en compte les effets sur l'agriculture de processus externes à la parcelle et à l'exploitation. Les agriculteurs sont en majorité très dubitatifs devant la problématique de la pollution diffuse, mesurable mais non observable directement. En 1991, l'opération Ferti-Mieux est initiée, fédérant une dynamique nationale pour aborder cet enjeu (Sebillotte, 2003).

De 1993 à 2002 : la remise en cause de l'intensification par les enjeux environnementaux et sociétaux

La décennie se singularise par une remise en cause des objectifs « productivistes » donnés à l'agriculture et par la prise en compte de deux nouvelles priorités : l'adaptation au contexte économique lié à la réforme de la PAC de 1992, confortant les inflexions sensibles déjà amorcées, et la nécessaire maîtrise des impacts sur l'environnement. En 1996, la crise de la « vache folle » marque une rupture avec la confrontation aux exigences sociétales dans un climat de défiance : la qualité devient un champ d'intervention en forte expansion, l'arrivée possible des cultures OGM est sujette à dramatisation par l'opinion publique alors que l'agriculture biologique a sa faveur. En 2002 paraît un décret relatif à la qualification des exploitations au titre de l'agriculture raisonnée, qui vise à concilier la compétitivité et le respect des exigences environnementales et sanitaires : l'agriculture est interrogée par le développement durable. Une expérimentation explore cette perspective ; le contrat territorial d'exploitation (CTE), impulsé en 1999 par l'État, s'inscrit dans la nécessité d'un nouveau contrat social (Landais, 1998) visant à intégrer les enjeux locaux sur l'ensemble de l'exploitation et fait l'objet d'une campagne de diffusion constructive.

La décennie sonne le glas des Trente Glorieuses et du « progrès technique » : la diffusion doit répondre à de nouveaux impératifs, environnementaux et sociétaux. La protection des ressources en eau nécessite une adhésion de tous les agriculteurs pour la mise en place de pratiques vertueuses, négociées et portées par tous les acteurs de l'encadrement ; la diffusion doit intégrer, clairement et progressivement, la diversité des exploitations et des exploitants.

La réforme de la PAC oriente les actions des ingénieurs du développement agricole vers l'optimisation des itinéraires techniques, selon différents modes de conduite des cultures en lieu et place de leur standardisation. Il en résulte la création d'outils d'aide à la décision (OAD), facilitant la mise en œuvre des différents éléments de l'itinéraire technique, en particulier pour le raisonnement de la fertilisation azotée (Jubil® ou Ramses® pour le blé tendre d'hiver). Le Comifer initie « Les rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse » en 1993, qui deviendront avec le concours du Groupement d'études méthodologiques et d'analyses de sols un rendez-vous périodique de référence pour les professionnels de la fertilisation raisonnée. Le contexte motive la recherche de diminution des charges fixes par une optimisation des agro-équipements et de l'organisation du travail. Simplification du travail du sol (Laurent et Richard, 2014), diminution du temps nécessaire pour les traitements, gestion des jachères obligatoires, etc., sont des axes de réflexion entre les agriculteurs et leurs conseillers de proximité qui réfléchissent à des projets individuels (ou collectifs) de réorganisation ou d'évolution des exploitations, où les aspects agronomiques sont bien présents.

En exploitations avec élevage, un Programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole (PMPOA) mobilise fortement les conseillers pour réaliser des diagnostics agro-environnementaux finalisés sur la gestion des effluents et concrétisés par des plans d'épandage. Au niveau des prairies, les questions de fertilisation (chapitre 4) suscitent un intérêt chez les éleveurs : un groupe régional « Fourrages » réunissant les acteurs locaux de la recherche et du développement est créé en Midi-Pyrénées.

Pour la gestion de l'espace, c'est une période de rupture qui se confirme. Les signaux repérés au cours de la période antérieure s'amplifient, avec l'identification progressive des territoires à forts enjeux environnementaux, à l'échelle des bassins-versants : la protection des ressources en eau, objet notamment des opérations Ferti-Mieux, ainsi que la réduction de l'érosion (Martin *et al.*, 1997) induisent parfois l'acquisition de nouvelles références agronomiques ; les zones à biodiversité remarquable avec le dispositif réglementaire Natura 2000 font l'objet de modes de gestion extensifs très codifiés ; les projets d'irrigation s'inscrivent désormais dans une démarche de gestion collective avec l'ensemble des utilisateurs : les Opérations secteurs de référence irrigation (Urbano, 1995). Plusieurs enjeux environnementaux se superposent parfois sur un même territoire, les agronomes, surtout en chambres d'agriculture, Civam, bureaux d'études, effectuent des diagnostics territoriaux finalisés sur ces différents sujets et accompagnent les agriculteurs par la médiation et la négociation avec les autres acteurs pour la contractualisation des mesures agro-environnementales (MAE) et l'appropriation de réglementations telles que la directive Nitrates. Quant à la filière du recyclage agricole des boues urbaines, très encadrée par l'APCA et l'Ademe (Wiart *et al.*, 2002), elle connaît en 1996 des turbulences par crainte de problèmes sanitaires : l'État renforce alors le contexte réglementaire.

Le développement de l'agriculture biologique (AB) s'affirme : les agronomes, notamment le Groupe de recherche en agriculture biologique et quelques structures locales (chambres d'agricultures et Civam) rassemblent des savoir-faire pragmatiques pour la conduite des systèmes « bios » auprès des pionniers. La qualification globale des exploitations, visant en particulier à maîtriser les pollutions ponctuelles et diffuses, est initiée en Picardie avec la démarche Quali'Terre, puis élargie au niveau national par la qualification au titre de l'agriculture raisonnée. Les agronomes des chambres d'agriculture s'impliquent fortement dans la mise à l'épreuve de ces démarches (référentiels et procédures) auprès des exploitants intéressés.

L'amélioration de la qualité des produits est reconnue comme un moyen de conforter le revenu des producteurs, d'abord pour l'orge de brasserie, puis pour le blé (Caneill et Le Bail, 1995). Pour ce dernier, la recherche d'une teneur élevée en protéines suppose une modification du système de culture intégrant les exigences croissantes de la directive Nitrates : ITA et OAC expérimentent des cultures intermédiaires pièges à nitrates. Par ailleurs, les agronomes en ITA investissent en bioéconomie avec les cultures industrielles, à usage non alimentaire, objet des premières contributions aux analyses de cycles de vie (Reau, 2006 ; Flénet, 2010).

L'accompagnement des contrats territoriaux d'exploitation dans un cadre assez normé et contraint contraste avec l'expérimentation préalable sur les plans de développement durable, riche en réflexions nouvelles, où les conseillers de proximité élaborent avec les agriculteurs des diagnostics de territoire intégrant le paysage, des diagnostics d'exploitation et des scénarios d'évolution finalisés sur des systèmes économes et autonomes (Viaux, 1995 ; Ambroise *et al.*, 1998).

De 2003 à 2020 : le développement en prise avec les transitions de l'agriculture

En 2001, la révision du décret fondateur du développement agricole renouvelle et élargit singulièrement l'ambition initiale : « Le développement agricole contribue à l'adaptation permanente de l'agriculture et du secteur de la transformation des produits agricoles aux évolutions scientifiques, technologiques, économiques et sociales dans le cadre des objectifs de développement durable, de qualité des produits, de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire et de maintien de l'emploi en milieu rural. » Le développement agricole est piloté désormais par l'État et orienté vers la multifonctionnalité de l'agriculture. Davantage financé par appel à projets du Casdar[2], il est engagé dans une dynamique de structuration régionale confortée par les compétences reconnues aux conseils régionaux : le développement agricole doit adapter son organisation à ces évolutions profondes (Lemery, 2006 ; Le Guen, 2006). Le contexte économique est marqué par la montée des incertitudes de marché et trois réformes de la PAC, avec un certain « verdissement des aides » (chapitre 3). En 2005, la loi sur le développement des territoires ruraux supprime la procédure de remembrement en instituant l'Aménagement foncier agricole et forestier, avec la

2. En 2005, l'État crée le Compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural » (Casdar), financé par le produit de la taxe sur le chiffre d'affaires des exploitations agricoles, soit environ 130 à 140 millions d'euros, qui financent respectivement deux programmes : le développement et le transfert en agriculture, et la recherche appliquée et l'innovation en agriculture, sous l'autorité de deux services du ministère de l'Agriculture.

volonté d'intégrer les enjeux environnementaux. En 2008, le Grenelle de l'environnement met en relief les questions sur la préservation de la biodiversité remarquable et fonctionnelle et sur les pollutions des ressources en eau par les produits phytosanitaires. Il conforte le rôle de l'agriculture dans la transition énergétique et l'intérêt de l'agriculture biologique. En 2013, l'État préconise le développement de l'agroécologie comme voie d'avenir face aux multiples défis de l'agriculture, aggravés par les questions complexes liées au changement climatique. Enfin, l'adoption des technologies du numérique crée une nouvelle donne tant du côté des pratiques agricoles elles-mêmes que des échanges sur internet entre acteurs.

Dans ce contexte, la diffusion se caractérise par la coexistence de plusieurs tendances :
– la montée en puissance des enjeux environnementaux et sociétaux a pour corollaire la multiplication des réglementations, qui empruntent généralement le schéma de diffusion verticale ;
– l'orientation stratégique vers l'agroécologie renforce le processus de coopération amorcé avec les agriculteurs pour concevoir des systèmes de culture innovants adaptés à la diversité des territoires (Petit *et al.*, 2012a ; 2012b) et la reconnaissance du rôle des groupes locaux dans la dynamique d'innovations (chapitre 5) ;
– la puissance des nouvelles technologies de l'information et de la communication permet aux organismes de conseil de donner des prescriptions sans expliciter le raisonnement et sans valoriser le savoir expérientiel de l'agriculteur (Compagnone *et al.*, 2018).

Un enjeu sociétal majeur est la réduction drastique de l'usage des produits phytosanitaires en grandes cultures, mais aussi en viticulture, en arboriculture, en maraîchage. C'est dans cette perspective qu'est mis en place en 2008 par les pouvoirs publics le plan Écophyto (chapitre 9, encadré 9.4). Le dispositif vise à réduire « si possible » de 50 % le recours aux phytosanitaires en dix ans. Il implique tous les acteurs, de la recherche aux praticiens en passant par les structures de collecte et de conseil, et associe les ONG. L'ambition exige de reconcevoir les systèmes de culture, raison d'être de la création du réseau Dephy, constitué de groupes d'agriculteurs motivés par la recherche de solutions innovantes, opérationnelles et accessibles. Parallèlement, des initiatives cherchent à améliorer l'efficience générale dans l'application des pesticides : citons la formation de tous les agriculteurs, objet de « Certiphyto », et la rénovation du système d'avertissement avec le *Bulletin de santé du végétal*, générateur de coopérations entre les différents acteurs du conseil. Une évaluation (Guichard *et al.*, 2017) identifie les effets de « verrouillage technologique » des systèmes agricoles autour de l'usage des pesticides (simplification du travail, spécialisation des systèmes, infrastructures de ventes d'intrants, etc.). Un second plan, Écophyto 2, est négocié, en gardant l'ambition initiale, avec pour échéance 2025. En l'absence d'alternative immédiate et généralisable au glyphosate, question aiguisée dans le débat public, le consommateur se tourne vers l'AB, en progression modeste au regard de la demande en France.

Un levier essentiel pour limiter l'usage des produits phytosanitaires concerne la diversification des systèmes de culture, marquée là aussi par de nombreux freins (Meynard et *al.*, 2013) : c'est l'objet en 2007 du réseau mixte thématique Systèmes de culture

innovants, animés par la Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne[3], et du projet Syppre, porté par les ITA[4], qui associent l'ensemble des parties prenantes (y compris bien sûr les agriculteurs) à la conception et au suivi des expérimentations pour l'élaboration de systèmes de culture multiperformants (Pouzet, 2015). La méthanisation, en ouvrant la possibilité de diversifier les cultures, suscite des travaux sur la valorisation de la biomasse (Koller, 2016) et fait l'objet d'un accompagnement dans les exploitations céréalières, où les systèmes de culture très simplifiés extériorisent de plus en plus fréquemment des résistances aux traitements. Le groupement d'intérêt scientifique de la filière grande culture (GIS GCHP2E), avec notamment l'Inra, les ITA, les chambres d'agriculture et les organismes d'approvisionnement et de collecte, étudie l'évolution des systèmes de culture, intégrant la prise en compte du biocontrôle et des prédateurs ou des parasites des ennemis des cultures. Les méthodes de biologie moléculaire sont désormais utilisables pour caractériser la biodiversité fonctionnelle des sols et mieux connaître l'impact des techniques culturales sur les fonctions remplies par la microflore des sols (Philippot *et al.*, 2013).

Avec le développement de capteurs pour caractériser de mieux en mieux l'état des peuplements végétaux, et d'outils numériques pour analyser la masse de données disponibles, les OAD deviennent de plus en plus sophistiqués et efficaces pour prendre en compte la variabilité intraparcellaire et simuler l'évolution possible des couverts. Les coopératives encadrent volontiers le pilotage des cultures par la mise à disposition de ces OAD auprès de leurs adhérents et accompagnent le développement de l'agriculture de précision (chapitre 2). Quant aux prairies permanentes, elles font l'objet d'un renouveau méthodologique et conceptuel sous l'impulsion de Duru (Duru *et al.*, 2005), en coopération notamment avec la chambre d'agriculture de l'Aveyron et des groupes d'éleveurs ; des initiatives régionales, comme le dispositif de recherche-développement-conseils « Herbes et Fourrages » en Limousin, fédèrent tous les acteurs locaux et régionaux du développement. Pour toutes les exploitations, les contraintes liées aux réglementations environnementales incitent à la traçabilité des pratiques, par exemple avec le plan de fumure (Kockmann *et al.*, 2005) ; la fertilisation reste un sujet mobilisateur (Schwartz *et al.*, 2005 ; Comifer, 2017) ; l'agroécologie (chapitre 4, encadré 4.1) se concrétise par des actions collectives au sein des groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE) accompagnés par les chambres d'agriculture, les organismes nationaux à vocation agricole et rurale (Onvar) et les lycées agricoles.

Les agronomes sont plus que jamais mobilisés par les actions territoriales relatives à la protection des ressources en eau, avec une attention croissante à la distribution spatiale des systèmes de culture (Benoît et Kockmann, 2008) et à la mise en place de mesures préventives (et non plus seulement correctives) pour la présence de produits phytosanitaires dans les eaux (Koller *et al.*, 2004) ou pour la lutte contre l'érosion (Joannon *et al.*, 2006). La biodiversité fonctionnelle, avec les enjeux que constituent les infrastructures agroécologiques et la caractérisation des paysages pour la protection intégrée des cultures, fait l'objet de stratégies régionales. Les agronomes doivent également s'approprier les problématiques complexes liées au changement climatique (déclinées par les plans climat-air-énergie territoriaux) ou à la qualité sanitaire et

3. https://www6.inrae.fr/systèmesdecultureinnovants/Le-RMT-SdCi
4. https://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/syppre-construire-ensemble-les-systemes-de-culture-de-demain

nutritionnelle des produits agricoles, qui génère des dispositifs de traçabilité tout au long des filières de production et de transformation nécessitant la mobilisation et la coordination de l'ensemble des acteurs d'un bassin de collecte, en référence au concept de système local d'approvisionnement (Le Bail *et al.*, 2006).

⏩ Les principales dynamiques influant l'agronomie dans le système de développement agricole entre 1945 et 2020

À travers le récit des faits marquants de ces différentes périodes du développement agricole, nous avons identifié plusieurs traits saillants des dynamiques de l'agronomie qui ont transformé la discipline et les métiers qui s'y rattachent.

Un élargissement des problématiques

Le récit précédent montre que les agronomes ont été mobilisés sur de multiples questions, recouvrant quatre problématiques, conduisant à la mise en œuvre de treize types d'actions, illustrés par des exemples révélateurs et/ou emblématiques dans le tableau 8.1. La chronique des faits marquants nous a conduits à évaluer qualitativement, pour chaque type d'action à une période donnée, son intensité correspondant au temps et aux ressources probablement consacrés. Le tableau illustre visuellement la dynamique générale d'extension des problématiques posées et des actions entreprises en agronomie par les acteurs du système de développement agricole.

Les problématiques « Amélioration de la production végétale et de sa gestion » et « Adaptation des exploitations agricoles » ont généré des actions portant respectivement sur les objets parcelle et exploitation, alors que les problématiques « Gestion de l'espace régional » et « Enjeux environnementaux et sociétaux » induisent des actions au niveau de l'objet territoire. Pour ce dernier, réel enjeu pour l'agronomie (Boiffin et *al.*, 2014), nous le comprenons comme l'espace pertinent au regard d'un sujet identifié, géographiquement limité, mais variable en extension (terroir, bassin-versant, bassin de collecte ou d'approvisionnement, zone d'application réglementaire ou région administrative), espace où plusieurs agriculteurs gèrent un ensemble de parcelles en interaction avec d'autres acteurs.

L'évolution des différents métiers et la dynamique des acteurs

Au cours des années 1970, l'évolution de la formation en agronomie dans l'enseignement permet de recruter des ingénieurs et des techniciens formés à la conception systémique.

Les ITA ont historiquement investi l'objet « parcelle » et, pour l'évaluation des intrants et les études en conditions contrôlées, recruté progressivement des ingénieurs sur des disciplines connexes, limitant l'insertion des agronomes qui aujourd'hui diligentent des travaux aux autres niveaux, « exploitation » et « territoire ».

Les chambres d'agriculture ont recruté, avec le développement du drainage et de l'irrigation, des pédologues et des agronomes qui ont pris en charge ensuite les travaux de recherche-développement-conseil en productions végétales. L'émergence des enjeux environnementaux a conforté le recrutement d'agronomes pour l'animation de collectifs sur les territoires. Parallèlement, les conseillers d'entreprise (chambres d'agriculture et centres d'économie rurale) sont devenus des acteurs influents dans

Tableau 8.1. Évolution des problématiques et dynamique des actions du développement agricole

		1945-1959		1960-1981	
Problématique	**Types d'actions**	**Exemples d'actions**	**Intensité**	**Exemples d'actions**	**Intensité**
Amélioration de la production végétale et de sa gestion	Maillons des itinéraires techniques culturaux	Villages-témoins, démonstrations et visites bout de champ	+++++	Expérimentations « courbes de réponse », Blé-conseils	+++++
	Études des ITK	–	–	Essais travail du sol	+
	Succession et systèmes de culture	–	–	Retournement des prairies permanentes	+++
	Valorisation des produits	–	–	–	–
Adaptation des exploitations agricoles	Gestion des agroéquipements et organisation du travail	Motorisation, organisation collective (CUMA), concours de labours	+++++	Adaptation des équipements à la motorisation	+++++
	Fonctionnement global des exploitations	–	–	Spécialisation régionale des systèmes de production	+++++
	Aménagements individuels	Gestion du parcellaire	+	Irrigation et drainage	+
Gestion de l'espace régional	Caractérisation des milieux	Référentiel des PRA	+++++	Cartes pédologiques, atlas climatiques par culture, secteurs de référence drainage	+++++
	Actions pionnières intégrant la diversité des exploitations	–	–	–	–
	Aménagements collectifs	Remembrements, irrigation (Bas-Rhône, CACG, etc.)	+++	Remembrements très soutenus et drainage	+++++
Enjeux environnementaux et sociétaux	Qualité eau et sol	–	–	–	–
	Biodiversité	–	–	–	–
	Autres thèmes	–	–	–	–

ITK : optimisation des itinéraires techniques ; OAD : outils d'aide à la décision ; RMT : réseaux mixtes technologiques ; SDCi : systèmes de culture innovants ; PRA : petite région agricole ; PDD : plans de développement durable ; CTE : contrats territoriaux d'exploitation ; GIEE : groupements d'intérêt économique

entre 1945 et 2020.

1982-1992		1993-2002		2003-2020	
Exemples d'actions	**Intensité**	**Exemples d'actions**	**Intensité**	**Exemples d'actions**	**Intensité**
Définition de stades sensibles, création du Comifer	+++	OAD, cultures non alimentaires	+++	Agriculture de précision	+
Valorisation des terrains drainés, chaulage, tours de plaine, enquêtes culturales	+++++	Adaptation des ITK à la PAC 92, Farmstar (variabilité intraparcellaire)	+++	Modélisation de la croissance et du développement des peuplements	+
Essais oléagineux, protéagineux, céréales	+	Gestion jachères	+	RMT SDCI, évaluation multicritère	+++++
Qualité orge de brasserie	+	Qualité du blé, agriculture biologique	+	Agriculture bio, qualité sanitaire	+++
–	–	Diminution des charges fixes (Mécagro)	+	Équipements adaptés aux orientations économiques et aux technologies	+
Adaptation Quotas laitiers, gels de terres en grande culture	+++++	Accompagnement PAC	+++++	Accompagnement PAC	+++++
Irrigation et drainage	+++	Irrigation et drainage	+++	Projets individuels (méthanisation, séchage solaire, assolements en commun, etc.)	+
–	-	Inventaire gestion et conservation des sols	+	RMT Sols et Territoires	+++
Diagnostics régionaux, typologies d'exploitation, Fourrages-Mieux	+++	PDD puis CTE (diagnostics d'exploitation), Farre, agriculture raisonnée	+++++	Réseaux Dephy, GIEE, cahier des charges, contractualisation, traçabilité	+++++
Remembrements, drainage en expansion	+++++	Lacs collinaires	+++	Aménagements agropaysagers (conception et mise en œuvre)	+
Problématique « Érosion », élaboration Ferti-Mieux	+	Déploiement Ferti-Mieux, secteurs de référence, irrigation, suveillance des produits phytos	+++++	Protection des ressources en eau	+++++
Contrôle biologique de la pyrale du maïs, premières OGAF	+	–	–	Biocontrôle, Natura 2000, inventaire prédateurs et parasites des ennemis des cultures, biodiversité des sols	+++
Études sur l'épandage des boues urbaines en Alsace	+	Études ACV, impacts OGM, MVAD	+++	Réduction/suppression des pesticides, évolution des pratiques, GES	+++++

et environnemental; CACG : Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne; OGAF : Opérations groupées d'aménagement foncier; ACV : analyses de cycle de vie; MVAD : Missions de valorisation agricole des déchets. L'intensité est faible (+), significative (+++) ou importante (+++++).

le champ du conseil stratégique (choix des cultures et de leur localisation, rotation et assolement) et sur la prise en considération de l'agronomie au niveau de l'exploitation, aux moments clés de sa trajectoire.

Les Onvar exercent un rôle majeur dans l'animation de groupes territorialisés, mais aussi dans l'accompagnement stratégique des exploitations. Quant aux organismes d'approvisionnement et de collecte (OAC), le conseil tactique, saisonnier, à la parcelle constitue un point d'ancrage très fort dans leur relation de proximité avec les agriculteurs, sachant qu'ils assument aussi des travaux conséquents en enquête et en expérimentation finalisés sur le pilotage des cultures. Certaines structures investissent également le conseil stratégique au niveau de l'exploitation.

En référence à notre expérience, nous avons évalué, pour chacune des catégories d'acteurs identifiées dans l'encadré 8.1, leurs implications pour chacun des trois objets structurants précités : la parcelle, l'exploitation et le territoire. La lecture diachronique et synchronique du tableau 8.2 illustre la dynamique générale d'extension de l'agronomie mobilisée pour l'action dans le développement ainsi que des évolutions différenciées entre les catégories d'acteurs. Rappelons ici le rôle particulier de l'État : acteur opérationnel majeur en première période à l'échelle de la parcelle et impliqué dans l'aménagement du territoire jusqu'en 1983, date où les conseils généraux prennent le relais, il joue toujours un rôle prépondérant dans les réglementations et, depuis 2003, dans les orientations du développement agricole. Mentionnons également le soutien financier apporté par les collectivités territoriales, les conseils départementaux et régionaux, ainsi que celui des agences.

Tableau 8.2. Dynamique des activités des différents acteurs du système de développement agricole selon les objets de l'agronomie.

Objet	Acteurs	1945-1959	1960-1975	1976-1992	1993-2002	2003-2020
Parcelle	CA	–	++	+++	++	+
	ITA	–	++	+++	+++	+++
	Onvar	+++	++	++	++	+
	OAC	+	+	++	+++	+++
Exploitation	CA	–	++	+++	+++	+++
	ITA	–	+	+	+	++
	Onvar	+	++	++	++	++
	OAC	+	+	+	+	++
Territoire	CA	–	+	++	+++	+++
	ITA	–	+	+	+	++
	Onvar	+	+	+	++	++
	OAC	+	+	+	++	++

La légende se lit ainsi : contribution absente (–), modeste (+), significative (++), importante (+++).

Les différents métiers ont été impactés par l'évolution de l'informatique, et plus largement par les sciences et technologies de l'information et de la communication ; par la multiplication des réglementations ; enfin par la complexification des questions posées en agronomie, dans un contexte concurrentiel pour le conseil de proximité. Nous revenons sur ce dernier point dans notre conclusion.

Les limites d'une articulation pourtant dynamique et féconde entre développement, formation et recherche

L'INA P-G anime au cours des années 1970 le cycle de perfectionnement à l'agronomie organisé par l'APCA : les conseillers s'initient à la démarche clinique. Dans le sillage des États généraux, l'action emblématique de la Relance agronomique (1983-95) (Béranger, 1982, cité par Leclercq *et al.*, 2013) constitue une initiative marquante pour l'appropriation de l'agronomie dans sa conception systémique (chapitre 7). Le cursus diplômant mis en place avec une convention entre le ministère de l'Agriculture, l'APCA et la chaire d'agronomie de l'INA P-G a été fortement apprécié par les 180 agronomes qui en ont bénéficié.

Par ailleurs, l'opération Ferti-Mieux, très innovante, invite à un renouveau dans les modalités d'interactions entre recherche et développement pour aborder les questions environnementales ardues, inscrites dans le temps long. C'est la même volonté qui est à l'origine du dispositif Agro-Transfert en Picardie (Boiffin et Chopplet, 2015). Avec les démarches territoriales, le métier d'agronome médiateur et négociateur au sein de projets multi-acteurs requiert de nouvelles compétences et des outils spécifiques, révélant la pertinence des acquis et démarches du Gerdal et ouvrant plus largement à une coopération avec les sociologues.

Au cours de la période récente, des initiatives visent à améliorer l'interfaçage entre recherche et développement afin de corriger l'organisation dominante *top-down* du modèle diffusionniste (chapitre 6) : dispositif Écophyto, mise en place dans certaines régions d'un Agro-Transfert, généralisation des réseaux mixtes technologiques (RMT), création des unités mixtes technologiques (UMT), constitution des groupements d'intérêt scientifique (GIS) par groupes de filière et du GIS Relance agronomique initiant le cycle de formation « Conseiller demain », multiplication des travaux de recherche-action, détachements d'agronomes du développement au sein de laboratoires de recherche sur une durée significative (trois ans). Ce sont là des opportunités contribuant à accroître singulièrement les travaux collaboratifs entre structures, à fluidifier ainsi les transferts de connaissances et l'appropriation des concepts, outils et démarches.

Toutefois, ces initiatives ont des limites :

– l'organisation initiale des ITA par filière a fortement orienté la production de références par culture, apparentée à l'agriculture spéciale qui « étudie les règles particulières à la culture des différentes plantes » (Dumont, 1960), alimentant le modèle dominant de diffusion. Même si les restructurations ultérieures ont ensuite atténué ce constat, il a affecté l'agronomie, avec en particulier des difficultés pour aborder le concept du système de culture ;

– en dehors des métiers d'agronome généraliste ou spécialisé, l'implication dans ces dispositifs d'interfaçage est difficile pour les métiers à double compétence, et plus encore pour les conseillers d'entreprise ou d'élevage, alors que leur relation de proximité avec les agriculteurs est déterminante pour le développement de l'agronomie. Il apparaît alors important d'établir au sein du système de développement agricole les conditions de coopération interactive entre les différents métiers ;

– un autre constat prévaut probablement au-delà des chambres d'agriculture où il a été observé : l'organisation interne, en particulier les articulations et les coordinations entre services, qui détermine les synergies entre les différents métiers au sein d'un

même organisme (Compagnone *et al.*, 2010); c'est là un point de vigilance qui peut être corrigé pour partie par des modalités de transfert de connaissances et des temps de formation interne;
– enfin, nous exposons en conclusion les tensions vécues dans le système de développement agricole pour assimiler les travaux de la recherche en lien avec le manque de temps et de moyens.

Une différenciation territoriale croissante

En 1945, la France se caractérise par des régions déjà très contrastées. Depuis, le remembrement, la PAC et le contexte international ont amplifié la très forte spécialisation régionale en influençant le choix des productions (chapitre 3). À l'intérieur de chaque région, deux autres tendances, l'affirmation croissante des questions environnementales depuis 1980 et, plus récemment, l'émergence d'une agriculture périurbaine, ont induit une forte singularisation entre les territoires à forts enjeux agroécologiques où la préservation des biens publics prédomine, entre les territoires périurbains et résidentiels, lieux privilégiés pour développer l'AB et les circuits courts en recréant du lien social, et entre les territoires productifs, les uns affectés par l'agriculture intensive, génératrice d'une perte de biodiversité liée en particulier au remembrement, et les autres plus traditionnels ayant préservé cette ressource (Le Roux *et al.*, 2008).

Au demeurant, pour préserver la biodiversité des écosystèmes, le renouveau dans l'installation des agriculteurs, en particulier pour conforter les petites et moyennes exploitations à caractère artisanal, qui produisent, transforment et vendent en circuits courts, constitue une question cruciale. En effet, au cours de la période étudiée, la régression du nombre d'exploitations et, en corollaire, l'augmentation de leur taille ont été spectaculaires; à ce rythme, les grandes et très grandes exploitations prédomineront : quels devenirs pour les paysages et leur diversité (Terrier, 2018) ?

Pour les agronomes, la prise en considération de la diversité des territoires et de leurs caractéristiques renforce l'intérêt du diagnostic agronomique (chapitre 2), indispensable pour connaître et hiérarchiser les enjeux, identifier les opportunités et les contraintes et contribuer à l'élaboration de stratégies en modélisant des scénarios. La diversité des territoires et l'impératif d'investir dans la prospective territoriale induisent aussi une diversité des profils de compétences à réunir dans une équipe régionale (Kockmann, 2007).

⏩ Le système de développement agricole, lieu de « fabrique de l'agronomie »

Le diagnostic agronomique, socle des fonctions du développement agricole

Ainsi, dans le système de développement agricole, la dynamique des agronomes « en action » apparaît impulsée par l'évolution du contexte général entre les différentes périodes, générateur de questions agronomiques nouvelles et/ou renouvelées. Pour répondre à ces questions, les agronomes posent d'abord un diagnostic agronomique, central dans leurs activités (Doré *et al.*, 1997).

Ce diagnostic sur les objets que sont la parcelle, l'exploitation et le territoire est un dénominateur commun aux différents métiers du développement agricole. Quels que soient l'objet et l'échelle et/ou le mode d'organisation associés, le diagnostic requiert de la méthodologie et de la rigueur : les concepts, méthodes et outils créés et formalisés par la recherche ont ouvert la voie à la démarche clinique en agronomie, renouvelant la relation entre le conseiller et l'agriculteur avec l'élaboration de plans d'action et leur suivi dans la durée (Cerf *et al.*, 2019).

Le diagnostic agronomique, élaboré à partir de la stratification des milieux et de la construction de typologies d'exploitations pour identifier la diversité des systèmes de culture résultant de la diversité des agriculteurs, est essentiel pour hiérarchiser les enjeux, coordonner les actions entre organismes et formuler des questions à la recherche (Sebillotte, 1982b).

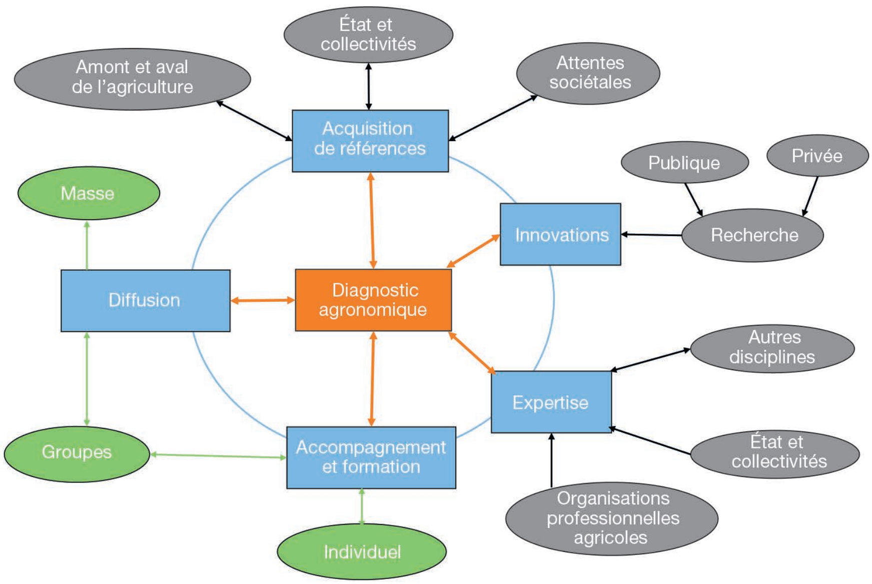


Figure 8.1. Relations systémiques entre le diagnostic agronomique et les cinq fonctions du développement agricole dans son environnement.

Flèches en orange : interactions entre diagnostic agronomique et chacune des cinq fonctions ; cercle en bleu : interactions entre fonctions ; flèches en vert : fonctions en relation directe avec les agriculteurs ; flèches en noir : fonctions en relation avec d'autres parties prenantes.

L'analyse des types d'actions retenus dans le tableau 8.1 nous conduit à identifier cinq fonctions assumées par les agronomes du développement agricole, ayant pour socle transversal le diagnostic agronomique tel qu'illustré par la figure 8.1. C'est sur lui que repose l'accompagnement de l'agriculteur dans ses prises de décision tactique ou stratégique ou celui d'un groupe d'agriculteurs confrontés à la gestion collective d'un espace. La formation permanente, présentée dans le chapitre 7, est une modalité particulière d'accompagnement, occasion d'échanges entre les techniciens du système de développement agricole et les agriculteurs, mais aussi entre agriculteurs à propos de thèmes particuliers. Le diagnostic agronomique requiert un référentiel pour porter un jugement et constitue un préalable à l'acquisition de nouvelles références et à leur

extrapolation (Capillon *et al.*, 1988). Le diagnostic est prégnant dans l'innovation pour identifier de nouveaux besoins, évaluer les innovations proposées par les fournisseurs de l'agriculture, créer des dispositifs générateurs d'innovations ou encore les repérer chez les agriculteurs. Le diagnostic est implicite lorsque l'agronome est sollicité pour son expertise en l'absence de référentiel éprouvé. Une autre constante dans les actions du système de développement agricole tout au long de la période considérée concerne la diffusion : là aussi, un diagnostic plus ou moins explicite se trouve à l'origine des multiples initiatives prises. Enfin, il existe des interactions entre fonctions : la pertinence de l'accompagnement de l'agriculteur repose sur la robustesse des références et sur la richesse des innovations disponibles; à défaut, l'agronome mobilise son expertise, qui peut induire l'acquisition de références; une innovation pour sa mise en pratique peut aussi nécessiter de nouvelles références et mobiliser de l'expertise. C'est avec cette grille d'analyse transversale et systémique que nous allons approfondir comment les agronomes du développement ont contribué à enrichir et à promouvoir l'agronomie.

L'acquisition de références agronomiques

Les références agronomiques sont mobilisées en amont des décisions techniques. Dans leur principe, elles mettent en correspondance, de façon comparative, trois séries d'informations (Angevin *et al.*, 2020) : les modalités techniques correspondant aux diverses variantes mises en comparaison; un ensemble de performances résultant de leur mise en œuvre dans un contexte donné; les conditions qui caractérisent ce contexte pédoclimatique, économique ou réglementaire et sont susceptibles de délimiter le domaine d'application d'une référence particulière.

En amont, la diversité régionale des exploitations et des milieux

À partir de 1980 naît un courant de recherche, donnant souvent lieu à des collaborations avec des instituts de formations, sur la connaissance et la compréhension des pratiques des agriculteurs, en lien avec le fonctionnement global des exploitations. Une typologie rend compte de la diversité des exploitations et de leurs trajectoires et contribue à l'étude régionale des problèmes techniques (Capillon, 1985). Bien que source d'une meilleure efficience pour la mission de développement, la formalisation de typologies régionales, complémentaires des enquêtes nationales telles que le Recensement général agricole (RGA), a rarement fait l'objet d'une stratégie professionnelle affirmée et d'une mise à jour régulière.

Quant aux sols, le sujet (développé dans le chapitre 9) invite ici à la concision. L'opération Secteurs de références drainage a permis, pour les régions concernées par le drainage, d'identifier la diversité pédologique des sols dans le paysage (Favrot *et al.*, 1996). Le programme Inventaire, gestion et conservation des sols (IGCS), piloté par l'Inra, a suscité une forte implication du développement agricole. Il se concrétise par les Référentiels régionaux pédologiques (RRP), insuffisamment valorisés par les conseillers et les agriculteurs (Boiffin et Stengel, 2000). La création de typologies agronomiques régionales reposant sur un nombre limité de sols, facile d'accès à partir de chaque RRP, constitue une priorité (Laroche *et al.*, 2020). Le RMT Sols et Territoires propose des documents multimédias utilisables pour la réalisation de diagnostics environnementaux. L'élaboration des atlas agroclimatiques par culture complète la stratification des milieux pour la mise en place de systèmes d'avertissement.

L'acquisition de références

À l'échelle de la parcelle

De 1945 à 1959, les références acquises portent sur un maillon technique, souvent la fertilisation, par un schéma reliant directement la technique étudiée et le rendement avec des dispositifs simples. Entre 1960 et 1982, en plein développement de la chimie (engrais, pesticides), les dispositifs évoluent avec la prise en compte des interactions entre certains maillons techniques, induisant à chaque fois des références nouvelles. Ce sont ainsi des paquets techniques, tels que « variétés-fertilisation azotée-date de semis-désherbage », qui sont testés, notamment en CETA, pour identifier les plus performants. À partir de 1982, les évolutions sont très sensibles pour appliquer un raisonnement agronomique en lieu et place de recettes locales et de normes validées par les statistiques. Par exemple, pour la fertilisation du blé, au lieu de « prévoir X unités d'azote à l'hectare pour le blé », ce sont les références sur les paramètres locaux de la méthode des bilans qui sont élaborées et diffusées. Par ailleurs, les dispositifs se diversifient en intégrant l'enquête agronomique, couplée ou non avec l'expérimentation selon la nature des questions posées. Les références visent à définir des méthodes de conduite des cultures et à construire des tableaux de bord prenant en compte les conditions locales, l'évolution des réglementations et le contexte économique pour raisonner les décisions tout au long du cycle cultural (chapitre 2). C'est ainsi que deux types d'itinéraires techniques sont mis en comparaison, l'un en conduite très intensive, l'autre prenant en compte les potentialités du milieu et leur variabilité interannuelle en Lorraine et Picardie (Limaux et Meynard, 1992). Le domaine de validité des règles de décision pour la conduite des parcelles et des systèmes de culture est ainsi conforté, précisé, voire remis en cause, comme dans le cas du chaulage en limons battants hydromorphes en lien avec le drainage, objet de l'encadré 8.2.

À l'échelle de l'exploitation

Au début des années 1980, la prise en compte de la diversité des exploitations se concrétise par la mise en place de réseaux de fermes de référence. L'ITEB structure ses réseaux en intégrant la diversité des élevages en bovins et ovins (GIS Élevages demain, 2012). Pour les céréales, l'ITCF élabore des cas types identifiés à partir d'enquêtes régionales. Dans les deux cas, l'objectif est double : connaître le fonctionnement technique, organisationnel et économique des principaux types d'exploitation et acquérir des références relatives aux choix stratégiques des agriculteurs.

Des démarches similaires sont conduites dans le cadre de l'expérimentation « Plans de développement durable » en intégrant l'environnement. Ultérieurement, l'enjeu des phytosanitaires conduit Agro-Transfert en Picardie à encadrer un réseau de huit fermes de grandes cultures engagées en production intégrée qui démontre la possible réduction de pesticides sans baisse de marge (Mischler *et al.*, 2009). Au niveau national, le même enjeu induit la création d'un réseau de fermes de référence, Dephy, pour chaque filière de production végétale : agriculteurs et conseillers, avec l'appui de la recherche, explorent les adaptations et/ou les remises en cause des itinéraires techniques et des systèmes de culture, en prenant en considération les déterminants des pratiques liés au fonctionnement global de l'exploitation.

Encadré 8.2. Étude de cas illustrant l'acquisition de références agronomiques : le chaulage

François Kockmann, Bernard Fabre (Isara)

■ Diagnostic

En Bresse, région caractérisée par une prédominance de limons battants hydromorphes, la valorisation du drainage apparaît variable entre exploitations : enquêtes et observations agronomiques révèlent que la forte hétérogénéité des rendements s'explique notamment par la variabilité de l'état structural des profils culturaux. Outre les travaux du sol et de récolte, le diagnostic des pratiques en cause pose la question du risque d'acidification des sols. Une préenquête bibliographique montre que les connaissances agronomiques sur le chaulage reposent sur les travaux de Coppenet (1956) : l'intérêt de bâtir un référentiel régional sur le chaulage en limons hydromorphes, drainés ou non, paraît fondé.

■ Protocoles

Un dispositif pluriannuel (1983-1988) d'enquête expérimentale est alors mis en place sur treize parcelles limoneuses présentant trois gradients de fonctionnement hydrique, d'états calciques et d'état organique initial. Un couple de stations culturales, l'une témoin, l'autre chaulée, est délimité sur chacune des parcelles, choisies chez des agriculteurs motivés enregistrant avec rigueur leurs pratiques. Le chaulage influençant les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol, c'est en bâtissant un schéma général des répercussions agronomiques du chaulage sur les trois composantes et leurs interactions sur le système sol-plante que les protocoles ont été réfléchis et les données interprétées. Outre des analyses en laboratoire pour mesurer les effets directs (pH, cations, capacité d'échanges cationiques) ou indirects sur l'activité biologique (biomasse microbienne), les protocoles ont privilégié la caractérisation des comportements du système sol-plante au champ avec la méthode du profil cultural (Manichon, 1982a).

■ Résultats

Les résultats mettent en lumière quatre effets :

– les conditions sur l'extériorisation des effets du chaulage sont importantes. L'impact sur la prise en masse et la praticabilité du terrain varie en amplitude selon la pluviosité, le fonctionnement hydrique du sol et l'état du profil cultural au semis (tableaux 8.3 et 8.4). Le chaulage limite les risques de prise en masse en terrain drainé, sauf si le profil est dégradé, et améliore la praticabilité en terrain hydromorphe lors d'automnes ou de printemps pluvieux (Fabre et Kockmann, 1987) ;

– le chaulage augmente l'activité de la biomasse microbienne, améliore ainsi la dynamique de l'évolution de la matière organique sans altérer le stock d'humus stable (Kockmann *et al.*, 1990) ;

– la colonisation racinaire constitue un révélateur des effets du chaulage sur la structure de l'horizon labouré et sur l'activité biologique des vers de terre dans le proche sous-sol. Le rendement, bon outil de dialogue avec l'agriculteur, constitue une variable de réponse trop lointaine du chaulage, mis à part les rares cas constatés de toxicité (aluminium, manganèse) ;

– le lessivage du calcium apparaît très lié au régime des pluies et au fonctionnement hydrique : plus important en sols drainés qu'en sols hydromorphes, les ordres de grandeur sont respectivement de 200 à 300 et de 50 à 175 u CaO/ha/an dans le contexte local. Le lessivage est très sensible aux modalités pratiques du chaulage : dose, nature du produit, conditions d'épandage.

Tableau 8.3. Effet du chaulage sur la réduction de la praticabilité des terrains.

		Pluviosité en automne ou au printemps	
		Faible	Forte
Effet du chaulage	En terrain drainé	Nul	Faible à nul
	En terrain hydromorphe	Faible à fort	Fort

Tableau 8.4. Effet du chaulage sur la réduction de la prise en masse.

	Terrain			
	Drainé		Hydromorphe	
	Profil au semis dégradé	Profil au semis non dégradé	Profil au semis dégradé	Profil au semis non dégradé
Pluviosité hiver-printemps forte	Nul	Fort	Nul	Nul
Pluviosité hiver-printemps faible	Nul	Faible à nul	Nul	Faible

■ Transferts et coopérations

Les références régionales ainsi acquises, objet d'un dossier technique à l'attention des prescripteurs, ont consolidé les bases fondées sur l'expertise d'un agronome régional (Roederer C., laboratoire Auréa AgroSciences) : les conseils sur les stratégies de redressement et d'entretien du chaulage en limons battants ont été fortement modulés selon le fonctionnement hydrique. Cet exemple illustre aussi l'importance de la coopération entre développement agricole et enseignement-recherche au sein du Comifer : en 1995, le groupe « Chaulage », animé par B. Fabre (Isara), a enrichi le schéma général issu de ces travaux par une recherche en laboratoire pour préciser les mécanismes chimiques des amendements basiques puis organisé, à l'initiative de J.-L. Julien (Laboratoire départemental d'analyses et de recherche de l'Aisne), un colloque sur l'acidification des sols à l'Inra à Versailles, opportunité pour publier un article de synthèse reprenant les travaux en Saône-et-Loire (Fabre et Kockmann, 2002) incluant une enquête sur la pratique du chaulage révélant la diversité des modèles d'action des agriculteurs.

À l'échelle du territoire

La protection des ressources en eau a généré de nouveaux besoins en références, en particulier sur la nutrition azotée pour limiter les flux d'azote hors de portée des racines, et sur la gestion des intercultures en intégrant la diversité des milieux (Comifer, 2002). Ainsi, suite au programme Bretagne eau pure sur les différents bassins-versants (1994-2006), les chambres d'agriculture ont mis en forme un Référentiel agronomique régional finalisé sur la gestion de la fumure (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2009). De même, un indice d'aléa d'érosion valorisant les recherches antérieures (Boiffin *et al.*, 1988) a pu être proposé par le GIS Sol, à l'échelle des communes et à l'échelle des systèmes de culture d'un territoire (Van Dijk *et al.*, 2016). Quant aux prairies permanentes, qui représentent 30 % de la surface agricole utile, une enquête agronomique à l'échelle nationale aboutit à une

typologie, restreinte à 19 types solidement référencés (mode d'utilisation, potentiel fourrager), qui constitue aujourd'hui un outil simple d'accès, utile dans les démarches de diagnostic agro-environnemental (Pottier *et al.*, 2012).

La production de références agronomiques constitue ainsi une fonction majeure des agronomes selon des démarches variées, et au prix d'un investissement humain et financier important. Les travaux régionaux ont donné lieu à de nombreuses publications locales et régionales. Au niveau national, les publications, peu nombreuses, traduisent le partenariat avec les chercheurs dans des revues telles que *Bulletin technique d'information*, *Perspectives agricoles*, *Ingénieries : eau-agriculture-territoires*, *Fourrages*, *Comifer*, ou mènent parfois à la création d'un dossier spécifique tel que le « Classeur sur la fertilité physique et le travail du sol » (Vinatier *et al.*, 1988).

L'innovation

L'innovation, au cœur de l'histoire de l'agronomie, a fait l'objet du chapitre 5. Notre présente et brève analyse est circonscrite au système de développement agricole, où l'innovation recouvre des champs divers : technique, organisationnel, social. Elle est parfois la redécouverte d'une pratique ou d'un savoir antérieur retrouvant sa pertinence dans une situation nouvelle et se caractérise par un changement de pratiques signifiant que l'innovation est adoptée (Compagnone, 2019). Nous retenons, au-delà de la mise au point d'innovations technologiques, trois axes pour décliner la contribution des agronomes : l'évaluation et l'adaptation des innovations technologiques conçues par les fournisseurs de l'agriculture en analysant et en expertisant leurs intérêts et limites, la conception d'innovations à caractère systémique pour l'évolution des itinéraires techniques et des systèmes de culture, l'appui à l'innovation auprès des groupes d'agriculteurs.

L'évaluation et l'adaptation des innovations technologiques

Les ITA ont un domaine privilégié d'intervention : l'évaluation des nouveaux produits (variétés et produits de protection des cultures) proposés par les industriels, pour informer les agriculteurs sur les produits les plus adaptés à leur situation et leur utilisation pratique. Les références diffusées comportent des recommandations sur les doses d'emploi ou les mélanges possibles de produits phytosanitaires tenant compte des flores d'adventices ou des conditions au moment de l'application. Cette mise en contexte de l'emploi d'une variété ou d'un produit trouve sa limite avec l'augmentation du nombre de variétés ou de produits pour la protection des plantes proposés chaque année par les industriels. Les préconisations des agents de développement reposent alors essentiellement sur la comparaison des performances des nouveautés par rapport à des témoins, nécessitant des réseaux d'essais très nombreux pour pouvoir extrapoler les résultats au regard de la diversité des situations culturales. Les améliorations produites par les agronomes portent principalement sur les protocoles, les méthodes statistiques utilisées pour analyser les résultats d'essais et la conception de modèles écophysiologiques. De 1993 à 2020, le foisonnement des innovations technologiques par les fournisseurs de l'agriculture fait que les agronomes des ITA consacrent toujours des moyens conséquents à leur évaluation, comme en témoigne l'encadré 8.3. Avec du recul, l'évaluation des innovations proposées par les fournisseurs de l'agriculture a beaucoup mobilisé les ingénieurs des ITA, avec un impact initialement faible, mais

croissant sur le développement de l'agronomie au sein du système de développement agricole et sur les fournisseurs de l'agriculture, utilisant l'analyse des composantes du rendement pour caractériser les différences de comportement des variétés dans leurs essais d'évaluation.

Les collaborations entre les agronomes des ITA et les spécialistes de l'amélioration des plantes ont donc été précoces et fécondes par la mise en place de dispositifs communs avec l'Inra et les semenciers. Avec les spécialistes de la protection des plantes, les liens se sont développés à partir de 1970 principalement autour de deux thèmes : la compréhension de la nuisibilité des ravageurs et les effets cumulatifs des modes de conduite sur les risques parasitaires (maladies et ravageurs). Dans les deux cas, les concepts d'itinéraire technique et de système de culture ainsi que la méthodologie d'analyse des rendements selon ses composantes ont été décisifs, notamment pour la gestion des adventices en raisonnant au niveau de la sole (Munier-Jolain *et al.*, 2005).

Au niveau du territoire, la contribution des agronomes du système de développement agricole a été particulièrement forte lors de l'évaluation de l'impact des cultures OGM tolérantes aux herbicides sur l'environnement au cours de la période 1993-2002 (Champolivier *et al.*, 1999), travaux prolongés ensuite au sein de l'Inra (Le Ny *et al.*, 2011), puis lors des études d'impact des insecticides néonicotinoïdes sur les abeilles (Henry *et al.*, 2015), et enfin avec la prise en compte du paysage dans la dynamique des insectes ravageurs des cultures.

Encadré 8.3. Le positionnement des innovations variétales dans l'itinéraire technique et le système de culture

La gestion des variétés a fait l'objet, dès 1942, de la création du Comité technique permanent de la sélection des plantes cultivées (CTPS) : la commercialisation des variétés des espèces cultivées en grande culture se fait après des épreuves caractérisant chaque variété par sa DHS (distincte des variétés déjà inscrites, homogène et stable) et sa VAT (valeur agronomique et technologique) en comparaison à des témoins bien caractérisés. En raison du nombre limité de sites pour ces essais officiels, si ce dispositif donne satisfaction pour l'autorisation de commercialisation, il est cependant insuffisant pour en tirer des conclusions sur l'adaptation d'une variété à la diversité des milieux. Progressivement, l'amélioration variétale, permettant des gains de productivité significatifs, devient un intrant important pour les producteurs. À partir du milieu des années 1970, les ingénieurs du système de développement agricole, et notamment ceux des ITA, mettent donc en place des essais de plus en plus nombreux pour caractériser les performances variétales dans l'ensemble des régions de production. Dans l'évaluation des performances de telle ou telle modalité, c'est la moyenne résultant des expérimentations multilocales qui est l'indicateur retenu, la variabilité des résultats d'une même modalité selon les milieux est ignorée, de même que les interactions avec les autres composantes de l'itinéraire technique, et notamment la prise en compte de l'état sanitaire de chaque variété.

Ces choix méthodologiques rendent difficiles les interprétations des résultats selon les méthodes d'analyse développées au cours de la même période par la recherche agronomique (schémas d'élaboration du rendement notamment), d'autant que le nombre de variétés mises sur le marché chaque année s'accroît et entraîne un renouvellement de plus en plus rapide des variétés en culture. Dans ce contexte,

Encadré 8.3. Le positionnement des innovations variétales dans l'itinéraire technique et le système de culture (suite)

la prise en compte de la variabilité interannuelle du climat est limitée. Des tentatives dispersées seront ensuite mises en œuvre pour mieux caractériser les interactions variétés × milieu et limiter le nombre d'essais nécessaires par zone pédoclimatique pour avoir une fiabilité acceptable (Vandeputte et Messéan, 1994).

L'évaluation du comportement variétal dans des conditions biotiques particulières (tolérance aux maladies par exemple) ou abiotiques (sensibilité au gel par exemple) est faite parfois sur des expérimentations au champ, mais le plus souvent en conditions contrôlées avec une standardisation des méthodes d'évaluation.

Dans la période 2003-2020, à la suite des réflexions et d'essais à l'initiative des producteurs, c'est le concept de culture pure, une seule variété par parcelle, qui est remis en cause. Des innovations font l'objet d'expérimentations ou de suivis en plein champ par l'ensemble des acteurs du système de développement agricole, malgré les réticences, surmontées progressivement, des organismes stockeurs et des utilisateurs industriels pour transformer une matière première hétérogène. Ainsi, des mélanges variétaux (par exemple avec des variétés différentes par leur phénologie) et des mélanges d'espèces (par exemple le blé et le pois protéagineux) sont alors évalués pour des critères très diversifiés tels que la régularité du rendement ou les impacts sur les maladies et les ravageurs, avec la volonté d'intégrer la diversité génétique dans le raisonnement de la durabilité des systèmes de culture, dans l'autonomie des systèmes en polyculture-élevage ou encore dans la prise en compte des changements climatiques. Au sein du GIS GCHP2E, une réflexion collective a été engagée pour consolider les innovations méthodologiques de l'évaluation variétale et leur élargissement autour du concept de « bouquet variétal », avec la prise en compte de plusieurs critères d'évaluation à l'échelle du système de culture (Gauffreteau *et al.*, 2019).

La conception d'innovations à caractère systémique

C'est avec le thème de la simplification des techniques de travail du sol que la conception d'innovations à caractère systémique est initiée à partir de 1966 par une coopération avec la recherche (ITCF, INRA, Cemagref), sur des dispositifs expérimentaux de longue durée sur trois milieux contrastés couplés à des enquêtes en parcelles agricoles, afin de comparer l'effet de différentes modalités de préparation des sols sur les autres composantes de l'itinéraire technique, sur les résultats économiques de l'exploitation agricole, mais aussi sur les impacts pour l'environnement (qualité des eaux, émissions de gaz à effet de serre, etc.) (Monnier *et al.*, 1994; Thévenet *et al.*, 2002). C'est surtout à la fin des années 1980 que les agronomes des chambres d'agriculture investissent le champ des innovations systémiques en explorant l'extensification en système fourrager pour certains types d'exploitations d'élevage (Béranger et Lacombe, 2014) et les itinéraires techniques alternatifs, intégrant les potentialités du milieu et les contraintes liées au fonctionnement des exploitations en système de grande culture (Meynard *et al.*, 1996).

La dynamique s'est ensuite étendue à l'ensemble des acteurs du système de développement agricole sur trois fronts : les aires d'alimentation de captages, les systèmes de culture innovants avec la mise en place du RMT Systèmes en 2007, le projet Syppre en 2016 et plus largement le dispositif Écophyto. L'innovation repose sur la reconception de systèmes de culture pour prendre en charge des enjeux multiples et parfois

contradictoires, ou pour les anticiper (Reau *et al.*, 2016). Les agriculteurs, parties prenantes dans la mise en pratique de ces nouveaux systèmes de culture, sont fréquemment associés en amont, comme en témoigne l'exemple relatif à l'implantation du colza dans le Berry (encadré 8.4). Dans la période récente, marquée par les évolutions technologiques, le phénotypage haut débit des plantes, la caractérisation du génome et de la diversité des fonctions des populations bactériennes du sol ouvrent le champ à des innovations au niveau des savoirs agronomiques pour l'action, par exemple avec le dispositif Digifermes® (Desbourdes et Perriot, 2020).

L'élaboration d'innovations à caractère systémique repose sur le concept de système de culture, structurant pour les connaissances scientifiques sur l'agroécosystème et opérationnel pour l'action ; il est central puisque commun aux trois objets des agronomes que sont la parcelle, l'exploitation agricole et le territoire (chapitre 1). Or, si ce concept a été intégré dans les pratiques des agronomes des chambres d'agriculture et des Civam confrontés à la question de la protection des ressources en eau, par contre, l'organisation des ITA par filière a constitué un profond obstacle à son adoption et peut encore freiner sa pleine valorisation, pourtant déterminante pour relever les défis à venir. La valorisation des transversalités au sein du système de développement agricole et avec d'autres partenaires reste un objectif affiché par les GIS.

Encadré 8.4. Mise au point de systèmes innovants à l'initiative des agriculteurs : l'implantation du colza dans le Berry

Gilles Sauzet (Terres Inovia) et André Pouzet

Dans les sols argilo-calcaires à forte pierrosité, l'implantation est perçue par les agriculteurs comme une cause majeure de l'irrégularité des performances du colza. En 2007, l'entrée en application du quatrième programme d'action Nitrates dans l'Indre, avec des modalités restrictives pour l'application d'engrais azotés à l'automne, mais aussi les difficultés de contrôle des adventices telles que le géranium, ont incité un groupe de sept agriculteurs à avoir une réflexion commune sur leurs pratiques d'implantation du colza, avec l'assistance d'un ingénieur du Cetiom.

La méthodologie proposée repose sur une participation importante des agriculteurs à l'exploration des évolutions techniques possibles, qui se concrétise par la mise en place, sur une parcelle de leur choix, de bandes de culture avec des modalités différentes d'implantation, comme l'utilisation d'un outil animé au lieu d'un outil à dents, le semis direct ou la date de semis. Les évolutions identifiées comme possibles et leurs combinaisons sont conduites sur un site géré par le Cetiom, sans dispositif statistique particulier, pour stimuler la réflexion collective.

Dès la première année, l'exploration des évolutions techniques possibles a montré l'intérêt du semis direct de colza sous couvert de légumineuses gélives. Cette modalité avait été choisie avec un triple objectif : installer une concurrence avec les adventices dès la levée de la culture, limiter la compétition avec le colza à la reprise de végétation et caractériser un éventuel « effet azote » sur le colza. Après une année de confirmation permettant un premier tri dans le choix du bouquet de légumineuses gélives, les agriculteurs ont également introduit cette innovation systémique sur leurs parcelles.

Les conditions de réalisation du semis direct (vitesse, structure du sol, etc.) sont affinées pour que l'effet mulch soit maximisé. L'argumentaire en faveur de cette technique d'implantation s'enrichit avec les essais sur la fertilisation azotée,

Encadré 8.4. Mise au point de systèmes innovants à l'initiative des agriculteurs : l'implantation du colza dans le Berry (suite)

réalisés également en sols de limons dans le cadre d'Écophyto, montrant que la décomposition des légumineuses gélives génère une libération d'azote minéral au printemps, permettant une économie de l'ordre de 20 unités d'azote par hectare. Des observations annexes, confirmées expérimentalement, ont mis en évidence un impact de la présence des légumineuses sur la réduction de la nuisibilité des populations des insectes ravageurs du colza à l'automne (altises et charançon du bourgeon terminal).

La démarche couplant une enquête impliquant les agriculteurs et des expérimentations a ainsi démontré l'efficacité des couverts de légumineuses pour réduire le désherbage chimique (compétition plus forte du couvert semé par rapport aux plantes adventices), la pression des insectes à l'automne (attractivité moindre du colza) et les doses d'azote au printemps (minéralisation des résidus des légumineuses gélives).

Dans une relation de confiance avec les techniciens, la participation d'agriculteurs à la création et à l'adoption de ce nouvel itinéraire d'implantation du colza a été importante pour la diffusion de cette innovation en Champagne berrichonne. Dans les autres régions, les réactions ont été plus timides, les régions de l'Ouest craignant par exemple que les gels ne soient pas suffisants pour détruire des couverts de légumineuses plus développés qu'en Champagne berrichonne, et à l'inverse les régions du Nord-Est craignant que les gels trop précoces ne permettent pas l'expression des avantages des couverts. Des adaptations ont donc été nécessaires, avec la participation des semenciers et des fournisseurs d'intrants qui ont pu proposer des mélanges de semences de colza et de légumineuses adaptés à la diversité des milieux. On estime aujourd'hui que l'association colza-légumineuses gélives couvre plus de 250 000 hectares, soit environ 20 % de la sole du colza en France en 2020, principalement en Lorraine.

L'appui à l'innovation auprès des groupes d'agriculteurs

Dès 1945, l'État encourage les dispositifs collectifs tels que les CUMA et les CETA pour faciliter l'adoption des pratiques innovantes. Dans un CETA, l'ingénieur, observateur attentif et critique des parcelles cultivées par un groupe d'agriculteurs, analyse, propose, corrige, adapte et partage leurs observations. Il crée les conditions d'une démarche correspondant à un processus d'amélioration continue (« essais-erreurs ») mise en œuvre par les agriculteurs pour adapter à leurs situations locales les sources d'améliorations techniques potentielles (Loyce et Wery, 2006).

Ensuite, les agronomes, par la démarche clinique, innovation méthodologique majeure, associent les agriculteurs au diagnostic et à l'amélioration du fonctionnement de leurs systèmes de culture (Jullian, 1983). Ce changement de posture contribue notamment à reconnaître et renforcer le potentiel d'innovations des CETA ou autres groupes tels que ceux du Gerdal (Darré, 2006). L'appui aux innovations auprès des groupes d'agriculteurs a ainsi conduit les agronomes à mieux analyser les causes de la variabilité des performances d'une parcelle à l'autre, à questionner la diversité des pratiques au sein d'un groupe et à mieux repérer et valoriser les innovations (pratiques, organisationnelles ou autres) des agriculteurs.

Durant la période récente (2003-2020), ce sont les agriculteurs qui sont à l'origine d'innovations avec les techniques culturales simplifiées, puis les semis sous couvert permanent ou la pratique du *strip-till* avec l'agriculture dite « de conservation des sols » (CETA de La Tille, en Côte-d'Or ; Association pour la promotion de l'agriculture durable), sujet abordé aussi par certaines coopératives telles que Vivescia et Terrena. Le développement récent de l'agroécologie a offert aux agronomes une opportunité pour repérer et valoriser les innovations des agriculteurs, avec la formalisation de leurs indicateurs, qualitatifs et systémiques (Petit et Fleury, 2010).

Nous constatons que l'appui à l'innovation auprès des groupes d'agriculteurs recouvre la mise à disposition d'outils et de méthodes, la création des conditions pour qu'ils innovent par eux-mêmes et/ou adaptent à leur propre situation des innovations exogènes, et la participation à l'évaluation et au développement des modifications de leurs pratiques individuelles ou collectives. Les exemples cités témoignent de l'évolution de la posture des agronomes et de la reconnaissance du rôle des agriculteurs dans l'innovation en agronomie, tel qu'explicité au chapitre 5.

L'expertise

En nous référant à la définition suivante, « l'expression d'une connaissance formulée en réponse à une demande de ceux qui ont une décision à prendre, en sachant que cette réponse est destinée à être intégrée à un processus de décision » (Roqueplo, 1997), l'expertise relève d'une problématique du jugement et de la décision en situations d'incertitude. La fonction se décline sur plusieurs champs pour les agronomes du système de développement agricole, au service de différents commanditaires : les agriculteurs, les collectivités territoriales, les pouvoirs publics, les responsables professionnels agricoles. Leur expertise se fonde sur un savoir d'agronome généraliste, enrichi d'une expérience de terrain dans un domaine préférentiel, doté d'une solide connaissance régionale et/ou porteur d'un savoir-faire ou d'une synthèse sur un contexte ou un thème à l'échelle nationale.

L'expertise à l'intention des agriculteurs

Dans leurs relations avec les agriculteurs, les agronomes ont adopté durant l'immédiat après-guerre une posture d'expert, formalisant des prescriptions sectorielles et limitées aux sujets étudiés en stations expérimentales. Toutefois, les agronomes restent fréquemment interpellés par les agriculteurs pour leur expertise au sens où, en toute rigueur, ils sont invités à donner leur avis sur des situations critiques en extrapolant au-delà du strict domaine de validité des références disponibles. Ainsi, pour répondre aux questions induites par l'adoption de certaines innovations technologiques par les agriculteurs, l'expertise collective est très utile avant que les références soient disponibles. Après un drainage par exemple, les agriculteurs se trouvent confrontés à la nécessité de réviser leurs pratiques : dates d'entrée dans les parcelles, de semis, de récolte, choix variétal, fertilisation, etc., jusqu'au retournement des prairies. C'est alors l'assemblage des observations réalisées par les ingénieurs et techniciens, en interaction avec les agriculteurs, qui permet de fiabiliser la valorisation des aménagements fonciers réalisés. L'expertise collective est aussi mobilisée pour concevoir un prototype théorique d'un système de culture répondant à des objectifs et des contraintes, prototype mis à l'épreuve ensuite en expérimentation (Loyce et Wery, 2006).

L'expertise auprès des collectivités et de l'État

Les collectivités territoriales, parties prenantes dans l'aménagement des infrastructures agricoles (remembrement, assainissement, irrigation), ont progressivement été confrontées à des questions nouvelles de gestion territoriale telles que le recyclage des déchets urbains par l'agriculture, l'économie circulaire et plus largement la bioéconomie. Des contextes nouveaux par l'échelle d'intervention, la nature des thèmes abordés et l'accentuation des collaborations interdisciplinaires (chapitre 4), où les agronomes, notamment des chambres d'agriculture, ont été sollicités et le demeurent pour leur expertise, comme en témoigne l'encadré 8.5.

Les pouvoirs publics, dans le cadre des politiques agricoles avec l'émergence des enjeux environnementaux et les crises sanitaires, ont accentué la mobilisation de l'expertise des agronomes, expertise qui a souvent une dimension médiatrice, contribuant à l'adaptation du global au local. Les agronomes sont fréquemment associés aux ajustements des mesures incitatives (PAC, CTE, MAET, etc.) et au paramétrage de certaines mesures réglementaires (Groupes régionaux d'expertise nitrates) soit par des concertations en cercle restreint entre pairs, soit par la participation à des dispositifs hybrides multi-acteurs. Lors de la mise en place de ces réglementations et/ou mesures incitatives (et lors de leur actualisation ou révision), l'expertise des agronomes est alors sollicitée pour leur évaluation *a priori* et *a posteriori*, mettant en évidence des champs d'action complémentaires.

Encadré 8.5. Le recyclage des déchets en agriculture

Rémi Koller, Association pour la relance agronomique en Alsace

Dès la fin des années 1970, l'Anred (future Ademe) initie dans les départements la création de Missions de valorisation agricole des déchets (MVAD), surtout auprès des chambres d'agriculture. Il s'agit d'inventorier les gisements locaux de déchets recyclables en agriculture et particulièrement de promouvoir l'épandage des boues des stations d'épuration des eaux usées nouvellement construites.

■ Un fonctionnement en réseau pour forger une expertise agronomique

Les conseillers recrutés, jeunes agronomes pour la plupart, se trouvent confrontés au besoin de références sur la valeur agronomique de ces produits et sur leur innocuité (Chaussod *et al.*, 1981). Ils construisent leur expertise en mobilisant les quelques résultats de la recherche alors acquis sur les risques de contamination par les métaux lourds et les pathogènes (Juste et Solda, 1977 ; Morel et Guckert, 1984) et en analysant des réglementations étrangères (Danemark, Suisse). En l'absence d'une réglementation spécifique, ils se dotent d'un cadre minimal de prévention des risques pour convaincre et rassurer les premiers agriculteurs utilisateurs, et conduisent aussi des démonstrations et essais pour l'estimation de leur valeur fertilisante, en particulier pour l'élément azote.

De 1985 à 1995, l'Ademe et l'APCA essaiment les MVAD et organisent les échanges d'expériences entre elles pour une mise en commun des résultats sur l'appréciation et la gestion des risques, la valeur fertilisante des produits et l'évaluation des possibilités d'épandage. Elles impulsent des synthèses de résultats dispersés et formalisent des guides pratiques. Ainsi, la qualité de l'expertise déployée sur le terrain par

chacune des missions se renforce. Mais elles font parfois face à des conflits de voisinage et des blocages portés par des élus en réaction aux odeurs à l'épandage ou aux stockages de bord de champ.

■ La reconnaissance et l'institutionnalisation de l'expertise des agronomes responsables des missions recyclage

En 1996, la crise de la « vache folle » réactive fortement les interrogations légitimes sur la sécurité sanitaire de ces produits, entraînant parfois le retrait de la profession agricole des missions. Toutefois, la majorité des MVAD choisissent d'accroître leurs qualités d'expertise en mobilisant les travaux de la recherche (Chaussod et *al.*, 1997) et en innovant dans le domaine de l'organisation locale pour sécuriser les filières de recyclage.

Par exemple, la MVAD du Haut-Rhin, territoire où la protection de la nappe phréatique d'Alsace est un enjeu majeur, élabore des normes techniques de régulation des épandages : évaluation du pouvoir épurateur des sols dans les plans d'épandage, exclusion de zones sensibles, périmètres de captage des eaux et zones inondables, recommandations de doses et de calendrier d'épandage. En complément, partant des inquiétudes exprimées par le monde agricole, elle mobilise les opérateurs et les producteurs de boues et composts autour d'une charte qualité pour réduire les nuisances liées à la logistique, assurer un contrôle précis des risques par des plans d'autocontrôle dépassant les prescriptions réglementaires et établir la transparence de l'origine des déchets (SMRA 68, 1997).

La pertinence de l'expertise détenue dans le réseau des missions est alors mobilisée par l'État pour contribuer à l'élaboration de la réglementation nationale : décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 et arrêté du 8 janvier 1998. Elle institue l'étude préalable à l'épandage et prévoit la possibilité pour le préfet de désigner un « organisme indépendant » des producteurs de boues, choisi en accord avec la chambre d'agriculture, pour assurer le contrôle et le suivi agronomique (produits, sols, cultures). Beaucoup de chambres d'agriculture revendiqueront cette responsabilité et, en 2007, 46 % des départements disposent d'un organisme indépendant (Déprés et Vollet, 2015).

Au-delà, leur connaissance des gisements et des difficultés pratiques et logistiques leur permet aussi de contribuer à l'orientation des filières en proposant des alternatives aux épandages de produits bruts pour une meilleure adéquation entre les produits proposés, les caractéristiques des sols et les systèmes de culture locaux, comme le chaulage, le compostage et plus récemment la méthanisation.

■ Vers une prise en charge de nouveaux enjeux

L'orientation des politiques publiques vers la promotion de l'économie circulaire portée par l'Ademe peut aujourd'hui s'appuyer sur un réseau d'agronomes praticiens et médiateurs dans quelques territoires, soutenus par une communauté scientifique active, mais restreinte (Houot, 2007 ; Bell *et al.*, 2013). Les questionnements actuels portent désormais sur une mobilisation optimale des ressources en produits résiduaires organiques des territoires vis-à-vis d'enjeux renouvelés : stockage du carbone dans le sol, limitation des émissions de gaz à effet de serre, économie des ressources en phosphore, notamment au cours du projet Proterr (2017-2020). Au-delà du conseil et du soutien à l'application de la réglementation, l'expertise agronomique se renouvelle et s'insère dans un appui plus large aux collectivités territoriales et aux acteurs des territoires.

L'expertise à la demande des responsables professionnels

Les responsables professionnels en charge des structures de développement comprises au sens large prennent des orientations stratégiques et assument un rôle de représentation dans les dispositifs de concertation aux configurations variées, régionaux tel que le Comité stratégique régional sur la biodiversité, ou locaux, qu'ils président (ou coprésident) parfois tels que les Comités locaux de pilotage relatifs aux aires d'alimentation de captages. Dans ces différents contextes, les agronomes se trouvent souvent invités à donner leur avis en amont : leur expertise interfère notamment sur la prise en compte des enjeux environnementaux et sociétaux (Compagnone *et al.*, 2013). Il en est ainsi aujourd'hui de l'usage des produits phytosanitaires, opportunité pour rechercher des solutions alternatives et, par là, enrichir l'agronomie.

Ainsi, par cette fonction d'expertise, les agronomes contribuent à mieux faire connaître et reconnaître l'agronomie, notamment auprès des « décideurs », État et/ou élus.

L'accompagnement individuel et collectif

En préalable, mentionnons l'analyse de l'évolution des postures de l'agronome vis-à-vis des praticiens, déclinée et caractérisée dans le chapitre 2. Nous retenons ici que la fonction d'accompagnement interactive entre l'agronome et l'agriculteur, ou un groupe d'agriculteurs, vise à accompagner ce dernier dans ses choix, par une discussion sur ses objectifs et pratiques (Landais et Deffontaines, 1988) sur les références mobilisables, et sur les risques et gains probables liés à différents scénarios. La fonction d'accompagnement est assumée en individuel ou en collectif et comprend trois axes :
– tactique, qui correspond au « temps rond, saisonnier », celui du pilotage des cultures en cours de campagne ;
– stratégique, qui concerne les décisions lourdes de l'agriculteur, impactant sur le « temps long » impliquant l'agronomie pour les choix relatifs aux systèmes de cultures et fourragers et leurs évolutions, pour les décisions liées aux agroéquipements et à l'organisation du travail et leur actualisation périodique. Le conseil stratégique inclut aussi l'éclairage pour accompagner l'agriculteur dans le choix d'une nouvelle trajectoire de son exploitation ;
– en aménagement-gestion de l'espace, qui recouvre la restructuration foncière, les techniques d'artificialisation des milieux ainsi que la prise en compte des impacts environnementaux dans des configurations collectives et territoriales.

Les évolutions des pratiques au sujet de l'accompagnement tactique

Le métier de conseiller naît avec la vulgarisation agricole ; la richesse et la spécificité même du métier reposent sur la relation de confiance avec les agriculteurs, l'esprit d'initiative, l'engagement en faveur de la promotion sociale du monde agricole (Brunier, 2018). Les sujets alors abordés concernent les variétés de blé, les prairies artificielles et la fertilisation NPK (Rémy, 2006). Au cours des années 1960, le conseil reste limité aux prescriptions sur la fertilisation et les variétés, puis s'élargit aux « paquets techniques ». Avec la création progressive des outils et méthodes d'observation de la démarche clinique en agronomie (chapitre 2), l'accompagnement tactique, saisonnier, finalisé sur le pilotage des cultures devient un axe très conséquent. Le tour de plaine suscite un grand intérêt (Sebillotte, 1969), sa pratique en collectif constitue une opportunité de

dialogue entre agriculteurs et techniciens, et le profil cultural est valorisé par les agronomes, avec des groupes d'agriculteurs, pour le travail du sol en particulier, en synergie avec les conseillers en machinisme. L'itinéraire technique, concept structurant les connaissances techniques et outil de compréhension des pratiques, a été rapidement et largement intégré par les conseillers, et le schéma d'analyse du rendement des cultures selon ses composantes enrichit encore les ressources pour faire face à la très grande diversité des situations et à leur singularité, en comprenant les logiques sous-jacentes aux pratiques des agriculteurs pour entrevoir avec eux les marges de progrès accessibles. Pourtant, les conseils sur la conduite des cultures ont été orientés en majorité vers une standardisation des itinéraires techniques. Ce constat est à l'origine du Comité Potentialités : plusieurs chambres d'agriculture ont adhéré à des dispositifs régionaux d'accompagnement du pilotage des cultures sur des bases renouvelées ou en ont créé, en expérimentant des itinéraires techniques intégrant la diversité des milieux et des exploitations (Kockmann *et al.*, 1996). La démarche clinique permet d'accompagner les agriculteurs dans leurs décisions, par une hybridation entre les savoirs actionnables créés par les agronomes et les savoirs issus de la pratique (Cerf et Meynard, 2006).

La question des indicateurs (nature, accessibilité, pertinence) reste un enjeu important mais complexe, en particulier pour intégrer des flux invisibles (nitrates, phosphates, etc.) (Limaux et *al*, 2001), ou générés à une échelle allant bien au-delà de l'exploitation (gènes, biodiversité des milieux). Par ailleurs, les agriculteurs utilisent des indicateurs de pilotage visuels et qualitatifs issus de leur expérience et intégrant les dimensions économiques et organisationnelles (Toffolini *et al.*, 2016). Initialement conçus pour accompagner l'agriculture dans l'amélioration de sa productivité, les outils évoluent pour intégrer les enjeux environnementaux, et plus largement la durabilité des systèmes agricoles (Meynard, 2016). Au cours de la dernière période, la modalité collective régresse au profit d'un accompagnement plus individuel, avec la généralisation des OAD et les développements de l'agriculture de précision.

L'accompagnement, fonction centrale des organismes de proximité, a connu une évolution très sensible avec la démarche clinique. L'appropriation « collective » a été satisfaisante pour les concepts et outils précités, sachant que le profil cultural requiert un certain apprentissage, facilité par la formalisation du *Guide du profil cultural* (Gautronneau et Manichon, 1987) puis par l'actualisation de la méthode (Boizard *et al.*, 2019). Inversement, d'autres concepts et outils ont été peu intégrés tels que la sole, échelle pourtant avérée de décision de l'agriculteur (Aubry, 1994), le concept de modèle pour l'action (Cerf et Sebillotte, 1988), bien que sous-jacent aux OAD, ou encore le schéma d'organisation territorial de l'exploitation (Soulard *et al.*, 2005).

Les évolutions des pratiques relatives à l'accompagnement stratégique

L'accompagnement des exploitations intervient aux moments clés de leur évolution (installation, agrandissement, restructuration et cessation) ainsi qu'à chaque révision de la PAC ou lors de créations/abandons de filières de valorisation. Les conseillers (chambres d'agriculture, CER, Onvar) abordent alors le fonctionnement global des exploitations, et donc les décisions stratégiques en agronomie que sont les productions et leur combinaison, la conception des successions de culture et leur localisation, l'assolement et les agroéquipements. Le plan de fumure global d'exploitation, qui acte les obstacles au développement de la fertilisation raisonnée (Boiffin, 1982), valorise l'analyse de terre par

sa pratique périodique sur des parcelles représentatives (terrain, histoire culturale). La démarche se concrétise par la remise d'un «tableau de bord» pour optimiser la fertilisation minérale et organique (Kockmann et Menegon, 1991). En 1992, la réduction des charges de structure constitue un enjeu, renouvelant l'intérêt pour le conseil en agroéquipement et en organisation du travail (Papy, 1998), donnant lieu en Picardie à la création d'un OAD, Mecagro (Mousset *et al.*, 1996). Toutefois, la lourdeur de mise en œuvre d'OAD finalisés sur l'accompagnement stratégique fait que les agronomes ont alors opté pour des pratiques de mises en discussion et de témoignages entre agriculteurs autour de cas concrets. Les différentes politiques publiques relatives à l'environnement ont ensuite induit la pratique de diagnostics d'exploitation finalisés sur les effluents d'élevage (Dexel), sur les démarches incitatives (contrats territoriaux d'exploitation) et plus récemment sur les enjeux de biodiversité (Cervek, 2012) et en agroécologie (ACTA, 2015).

L'accompagnement stratégique, insuffisant au regard des attentes des agriculteurs, est primordial dans le contexte actuel de multiples transitions. La reconception des systèmes de culture, souvent indispensable, nécessite de construire des indicateurs liés à la caractérisation des états intermédiaires du milieu recherchés par les agriculteurs. La formation (chapitre 7) est probablement une voie pour favoriser les échanges et les partages d'expériences entre agriculteurs; ce peut aussi être un lieu pour développer des apprentissages à la gestion de l'incertitude, en prenant appui sur un jeu tel que le *Rami Fourrager* (Martin *et al.*, 2012), outil d'intelligence collective au service d'une situation individuelle pour anticiper les conséquences agronomiques liées au changement climatique. Il en est de même avec le jeu de plateau *Mission Écophyt'eau*[5], outil coopératif et pédagogique pour poser avec les agriculteurs un diagnostic sur leurs systèmes de culture et entrevoir les évolutions.

L'accompagnement en aménagement puis en gestion de l'espace

De 1945 à 1981, l'aménagement portait principalement sur la composante technologique, pour les remembrements, le drainage ou l'irrigation. La démarche des secteurs de référence en irrigation négociée entre les pouvoirs publics et la profession agricole marque une rupture : les projets d'irrigation doivent faire l'objet d'une gestion réfléchie avec l'ensemble des utilisateurs d'un bassin-versant, au regard des disponibilités en eau et en prenant en considération les impacts environnementaux (Tirel, 1993). Ainsi, les projets d'aménagement évoluent vers des projets de gestion de l'espace, négociés avec une diversité d'acteurs pour rechercher collectivement les meilleurs compromis. Il en est de même pour le drainage avec les zones humides en conciliant biodiversité, hydraulique et agronomie. Ce sont aussi les problématiques d'érosion et surtout de protection des ressources en eau qui mobilisent les agronomes à une nouvelle échelle, le bassin-versant, pour accompagner un collectif d'agriculteurs vers une dynamique de changements de pratiques, à l'image des opérations locales Ferti-Mieux illustrées par l'encadré 8.6. Ce n'est qu'avec la confrontation aux diagnostics agronomiques finalisés sur ces problématiques que le concept de système de culture est intégré dans les pratiques des conseillers de chambre d'agriculture et plus largement ensuite (Papy, 2019; Kockmann *et al.*, 2019). Au cours de la période récente, la pression réglementaire pour la protection des aires d'alimentation de captage s'est accentuée, et l'implication des conseillers des chambres d'agriculture reste très conséquente, avec un rôle

5. https://ecophytopic.fr/pic/pour-aller-plus-loin/outil-mission-ecophyteaur

d'animation de projet territorial et de médiation entre acteurs (Soulard et Kockmann, 2012; Trebuil *et al.*, 2018). Parallèlement, l'agriculture périurbaine émerge et s'affirme : c'est l'opportunité de recréer du lien social en intégrant la biodiversité sur l'exploitation, en développant l'agriculture biologique et en choisissant les circuits courts.

Encadré 8.6. Une opération locale labellisée Ferti-Mieux

Pascale Moretty (Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire)

L'opération « Cultivons l'eau potable en Val de Saône et du Doubs » comprend initialement les alluvions inondables du Val de Saône, puis est élargie à la vallée du Doubs afin de recouvrir la zone vulnérable délimitée par la directive Nitrates. La zone d'action (47 700 ha) comprend 21 captages alimentant plus de 50 % du département en eau potable. En 1991, la chambre d'agriculture pose sa candidature à l'opération Ferti-Mieux : un pré-label est attribué en 1992, puis le label (1993), renouvelé ensuite en 1997 et en 2001 ; chaque évaluation par le Comité scientifique et technique national donne lieu à une « boucle d'améliorations ». Illustrons les principales exigences retenues pour l'accompagnement des agriculteurs (Lanquetuit et Sebillotte, 1998).

■ Un prérequis : le diagnostic agronomique

Il est finalisé sur l'identification et la hiérarchisation des situations à risque par rapport à l'estimation des flux de pertes en azote alimentant la nappe (Sebillotte et Meynard, 1990). Ici, l'augmentation des teneurs en nitrates de la nappe alluviale, dépassant pour certains puits les 50 mg/l, paraît liée au retournement dans les années 1980 des prairies permanentes les moins exposées aux crues au profit de la monoculture de maïs : les alluvions, essentiellement des sols très argileux, ont de très fortes potentialités malgré les contraintes de praticabilité. En 1989-1992, en partenariat avec l'Inra, une enquête agronomique pluriannuelle sur un réseau de parcelles en monoculture de maïs recouvrant un gradient relatif à la date de retournement de la prairie chiffre les fournitures du sol en azote, très conséquentes, et montre aussi l'impact de l'état du profil cultural sur les pertes en nitrates.

■ Entre prescripteurs un même conseil, en recherchant une progressivité dans l'évolution des pratiques

C'est ainsi que chambre d'agriculture, organismes d'approvisionnement et de collecte, ITA convergent en 1992 vers un premier message simple, focalisé sur la prise en considération de l'histoire culturale, ignorée jusqu'alors, dans les pratiques de fertilisation azotée du maïs, 180 à 200 kg N/ha, voire plus. Les prescriptions négociées incluent une marge pour couvrir le risque de profils culturaux dégradés. Le pool technique gère ensuite un réseau de 6 essais durant 4 campagnes finalisées sur la fertilisation azotée du maïs : ce sont des lieux d'échanges entre techniciens, facilitant l'appropriation des résultats puis leur traduction dans des prescriptions communes. Ainsi, les résultats des essais conduisent à formaliser en 1997 un *Guide de la fertilisation azotée sur maïs* intégrant la diversité des milieux, et confirment le rôle prépondérant de l'état dégradé ou non du profil cultural sur les pertes en nitrates. L'implantation de cultures « pièges à nitrates » étant inenvisageable en monoculture de maïs en alluvions inondables, le travail du sol, couplé à la gestion des résidus de récolte, constituera le sujet technique déterminant et attractif pour les agriculteurs les plus motivés, accompagnés alors pour faciliter des partages d'expériences et bâtir ainsi en 1999 un « tableau de bord » des itinéraires techniques de travaux du sol selon différents scénarios climatiques (conditions de récolte,

Encadré 8.6. Une opération locale labellisée Ferti-Mieux (suite)

crues en hiver et/ou printemps). Le conseil s'enrichit ainsi au fil du temps, incluant facteurs et conditions dans le raisonnement des pratiques de fertilisation.

■ Prendre en considération tous les agriculteurs dans leur diversité

En 1990, une typologie des agriculteurs, basée sur le raisonnement de la fertilisation et l'ouverture aux enjeux environnementaux, doublée d'une enquête finalisée sur le fonctionnement des exploitations donnent les clés pour stratifier les 288 agriculteurs concernés par la zone initiale et amorcer la sensibilisation aux enjeux de l'agriculture dans la vallée par une série de réunions coanimées avec l'hydrogéologue de l'État. En 1993, un plan de communication gradué, « sensibiliser, expliquer, convaincre », et modulé selon les profils de sensibilité des agriculteurs est conçu puis mis en œuvre. En 1997, une charte de bonnes pratiques, basée sur un diagnostic préalable de l'exploitation portant sur le raisonnement de la fertilisation minérale et organique et la manipulation des produits phytosanitaires, recueille l'adhésion de 70 agriculteurs.

■ Agir sur les pratiques agricoles, mais aussi sur la répartition spatiale des systèmes de culture

L'évolution des pratiques entre 1991 et 1997 par la méthode préconisée (Lanquetuit et Sebillotte, 1997) et par le solde Corpen apparaît positive, mais modérée. L'État délimite les périmètres réglementaires des 21 captages inclus dans la zone vulnérable, élargie à la vallée du Doubs. Dès lors, les objectifs et les stratégies sont différenciés : une amélioration de la qualité de l'eau au niveau des captages est recherchée en mobilisant les collectifs d'agriculteurs, un simple accompagnement des préconisations réglementaires est retenu sur le reste de la zone vulnérable. Sur recommandation du CST national, un dispositif de bougies poreuses est mis en place sur 15 parcelles, localisées sur deux aires d'alimentation de captages sensibles, pour évaluer l'efficacité de différentes stratégies de restauration de la qualité des eaux souterraines par modélisation du transfert des nitrates. Il en résulte que c'est en conjuguant les leviers d'action, le réglementaire (remise en prairie du périmètre rapproché), l'incitatif (contractualisation de mesures agro-environnementales sur une fraction du périmètre éloigné) et le volontariat (sur lequel repose la démarche Ferti-Mieux), sur toutes les autres parcelles de l'aire de captage qu'il est possible de restaurer la qualité de l'eau (Novak *et al.*, 2006). Par ailleurs, l'opération bénéficie d'un travail de recherche (Soulard, 1999) : une typologie finalisée sur l'utilisation du sol en zone inondable met en exergue 9 logiques, donnant ainsi une clé de compréhension de la diversité des stratégies des agriculteurs et de leurs marges de manœuvre pour relocaliser ou changer leurs systèmes de culture.

■ Veiller à la communication et fédérer tous les acteurs

Une attention constante a été portée à la communication, notamment par la diffusion d'un bulletin spécifique et la création d'une exposition itinérante sur toutes les communes de la vallée visant à faire connaître au grand public l'opération, objet d'interventions dans l'enseignement.

Soulignons, pour conclure, le rouage important que constitue le comité local de pilotage, notamment le rôle essentiel du binôme de responsables professionnels, chambre d'agriculture et coopérative, qui ont su fédérer les acteurs du monde agricole et de l'eau ainsi que les représentants des administrations et des collectivités territoriales et convaincre leurs pairs de la nécessité de rechercher « une agriculture compétitive, mais respectueuse de l'environnement. »

Une évolution marquante de l'accompagnement est liée à l'affirmation de l'objet « territoire » : dans un premier temps, l'enjeu est d'adapter le paysage afin de maximiser la production agricole sous l'autorité de l'État; dans un second temps, l'enjeu est de prendre en compte les questions environnementales et sociétales considérées à des échelles territoriales et temporelles diverses, avec une implication directe des collectivités, en charge de décliner les politiques publiques qui s'enchevêtrent. Au-delà du nouveau profil des agronomes impliqués dans les démarches complexes de gestion et de prospective territoriale (Sebillotte, 2005) se dessine un réel enjeu pour la profession agricole, en particulier pour les chambres d'agriculture : être acteurs du développement territorial (chapitre 4).

La diffusion des connaissances, des références et des innovations

La diffusion d'informations prend en compte deux dimensions, l'une verticale (ou descendante), avec la diffusion des savoirs scientifiques et techniques à l'intention des agriculteurs, et l'autre horizontale (ou transversale), relative à la circulation de l'information entre agriculteurs, recouvrant l'appropriation des connaissances scientifiques et techniques d'une part et les échanges entre pairs de leurs savoir-faire locaux d'autre part. Si la transmission verticale est soutenue par divers supports de communication, notamment écrits, la circulation horizontale est quasi exclusivement orale. Les deux dimensions, articulées, ont évolué au gré des politiques publiques déclinées en première partie, mais aussi en tirant les leçons des expériences successives.

La diffusion verticale : le transfert des connaissances scientifiques et techniques

Les méthodes de diffusion verticale

La vulgarisation agricole vise à toucher la masse des agriculteurs par une transmission des connaissances, objets souvent de recettes simples mais éprouvées. Hiérarchique et descendante, la vulgarisation repose sur le modèle communicationnel du « télégraphe » : l'émetteur (E) envoie un message (M) à un récepteur (R). La communication de masse est un processus mécanique de persuasion (Parent, 1993) qui se concrétise au lendemain de la guerre par une explosion de la presse agricole.

Le modèle diffusionniste repose aussi sur le schéma descendant « recherche-formation-développement » à l'attention des agriculteurs. Le rôle des médias reste déterminant pour susciter l'intérêt des agriculteurs en ciblant notamment les leaders d'opinion : touchés par l'information (connaissance, référence, innovation), ils l'intègrent dans leurs pratiques, pionniers influents auprès de leurs voisins, ces derniers les imitant. Cette conception est à l'origine de la diffusion d'un message technique unique « par tache d'huile » ou « par-dessus la haie ». De là provient toute l'attention portée aux « agriculteurs de pointe » par les organismes de conseil de proximité.

Toutefois, la mise à l'épreuve du modèle diffusionniste se traduit par un impact pour 10 à 25 % des exploitations selon les petites régions agricoles. Pour en améliorer l'efficience, il est enrichi par du marketing social : harmonisation des messages techniques diffusés par les différentes structures au sein d'une petite région agricole, à l'image des opérations Blé et Maïs-conseils, puis intégration de la diversité des types d'exploitations, des profils des agriculteurs et de leurs savoirs locaux, expérimentée dans les

opérations locales Fourrages-Mieux. Le modèle de diffusion sous-jacent repose alors sur un croisement entre informations descendantes ciblées et circulation en groupe local. Il prend en considération la diversité des exploitations et des exploitants dans les stratégies de diffusion. Cela devient alors un prérequis dans la majorité des démarches où l'enjeu est d'impliquer, en ajustant les messages et en diversifiant les modalités de communication, tous les agriculteurs concernés par un même territoire.

Les supports de communication

Les supports de diffusion écrite ont connu une évolution importante dans les mensuels de diffusion pour l'agronomie : le *Bulletin technique d'information*, créé en 1945 par l'État à l'intention de son réseau d'ingénieurs (services déconcentrés, enseignement), mais valorisé par les différentes structures du développement agricole, disparaît en 1981; la revue trimestrielle *Fourrages* est créée en 1959, et l'ITCF lance la revue mensuelle *Perspectives agricoles* en 1977 d'abord à l'intention des céréaliers et de leurs conseillers; ces revues institutionnelles abordent les sujets relatifs à l'agronomie par une communication plus explicative que normative; nous l'illustrons par l'encadré 8.7 finalisé sur les articles autour de la fertilisation azotée du blé. D'autres revues choisissent une communication technique sur des thèmes relativement simples à l'intention d'un grand nombre d'agriculteurs (articles dans les journaux agricoles, régionaux ou départementaux; brochures spécialisées par culture : *Le Betteravier français*, ou les brochures annuelles du Cetiom).

Les supports de diffusion numérique reprennent généralement des éléments contenus dans les publications écrites. Toutefois, l'application des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) constitue potentiellement une révolution : la diffusion par la généralisation des OAD, à la charnière de l'accompagnement collectif, pose la question de l'autonomie de l'agriculteur dans sa prise

Encadré 8.7. La diffusion de l'agronomie illustrée par le raisonnement de la fertilisation azotée

La contribution de *Perspectives agricoles*, revue mensuelle créée en 1977 et éditée par Arvalis-Institut du végétal, à la diffusion de l'agronomie est analysée à la lecture des articles concernant la fertilisation azotée du blé tendre d'hiver, thème révélateur de la prise en compte des interactions entre le climat, le sol, la plante et la conduite de la culture sur deux périodes.

■ De 1977 à 1984

La création de *Perspectives agricoles* intervient alors que le raisonnement de la fertilisation azotée est en pleine évolution : les doses optimales et les courbes de réponse élaborées dans différents milieux sont remplacées par une méthode prenant en compte la dynamique de l'azote dans le sol, avec la mesure des disponibilités en azote minéral à la sortie de l'hiver (RSH) et les besoins de la plante, estimés par le rendement prévisionnel avec une teneur moyenne en azote de 3 kg par quintal (coefficient « b »).

Cette méthode est abondamment diffusée par *Perspectives agricoles*, avec des articles de fond expliquant l'évolution de l'azote dans le sol, l'intérêt de la méthode avec l'analyse critique des premiers résultats d'essais de validation (Viaux, 1979),

le cycle de l'azote (Rémy et Viaux, 1980) et la variabilité du RSH selon le précédent, la minéralisation d'automne, le travail du sol, la pluviométrie et la température hivernales. La revue présente également des conseils de saison, qui reprennent de façon très opérationnelle (tableaux, schémas illustratifs) les bases du raisonnement pour chaque étape importante.

C'est aussi à cette période que la contribution de l'agriculture à la pollution des eaux par les nitrates est mise en évidence. Viaux (1981) présente l'intérêt de la méthode du bilan pour diminuer les risques de lessivage des nitrates. Hénin (1981) approuve la démarche en attirant l'attention sur trois points sensibles : la détermination du rendement objectif, le taux d'utilisation par la culture de l'engrais apporté, et « les facteurs et conditions qui pourraient soit limiter l'efficacité de l'azote, soit restreindre le développement de la plante cultivée ».

■ **Entre 2003 et 2020**

Nous constatons des continuités et des modifications profondes de l'approche de la fertilisation azotée :

– la méthode du bilan reste la base du raisonnement, avec quelques pratiques nouvelles pour compléter, voire suppléer la mesure du RSH (méthode double densité, Laurent et Limaux, 2003 ; Bouchard *et al.*, 2006), et la prise en compte de la variabilité intraparcellaire avec les technologies spatiales pour caractériser les couverts. Une autre adaptation porte sur la prise en compte des différences variétales pour le coefficient « b » (Laperche *et al.*, 2006). Très récemment, une évolution importante émerge avec les travaux réalisés dans le cadre d'une thèse cofinancée par Arvalis-Institut du végétal pour mieux apprécier les besoins de la culture tout au long de son cycle par la mesure de l'indice de nutrition azotée (INN), en s'affranchissant ainsi des difficultés liées à la fixation du rendement objectif (Soenen *et al.*, 2017) ;

– les modifications profondes sont liées à la prise en compte du cycle de l'azote dans sa globalité pour répondre aux problématiques environnementales : pollution des eaux par les nitrates, volatilisation ammoniacale et émissions de N_2O. *Perspectives agricoles* participe à la diffusion de ces nouveaux domaines d'intervention avec des articles sur les cultures intermédiaires et/ou associées ou encore les bandes enherbées. En témoignent la discussion de Labreuche et Citron (2015) sur le choix du couvert végétal en fonction de la culture suivante ou de la rotation, ou le dossier « Cultures intermédiaires » où est présenté leur impact sur les nitrates, sur la structure du sol et sur le bilan économique (Labreuche *et al.*, 2009). Progressivement, les Cipan ne sont plus seulement « une contrainte de plus », elles deviennent des cultures à part entière, participant pleinement à l'évolution des systèmes de culture et à la mise en œuvre de la stratégie d'exploitation (Toque et Cadoux, 2017).

■ **Quelles leçons tirer de cette investigation ?**

L'exemple de la fertilisation azotée du blé témoigne ainsi de la contribution du système de développement agricole à la diffusion de l'agronomie en se faisant le relais des résultats de la recherche à l'intention des agriculteurs et des techniciens, en approfondissant et en illustrant les aspects techniques et opérationnels, et en valorisant les retours d'expérience pour proposer de nouvelles actions de recherche réalisées en interne ou en partenariat. La progression des messages au fil des articles révèle la prise en compte de la dimension systémique de l'agronomie, avec l'affirmation du système de culture, lieu d'intégration de la stratégie de l'agriculteur, et l'ouverture au cycle de l'azote dans sa globalité.

de décision. En effet, la capacité, pour un organisme de conseil, à recueillir toutes les données parcellaires pertinentes de manière automatisée par des capteurs, à les traiter afin de générer une décision rapide et adaptée, fondée sur un raisonnement agronomique, est avérée ; toutefois, il s'agit encore d'une diffusion de type vertical, limitant singulièrement la possibilité pour les agriculteurs d'y intégrer une part de leur expérience et de leurs savoirs (Compagnone *et al.*, 2018), avec les risques liés aux divergences possibles entre outils et aux difficultés potentielles lors des changements d'équipements.

Un autre support de communication repose sur la mise en valeur de fermes modèles ; c'est ainsi que la profession agricole, avec l'appui de l'agrofourniture, crée le Forum de l'agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement (Farre), recherchant à partir d'un réseau de fermes à promouvoir une agriculture compétitive, intégrant de façon équilibrée les objectifs économiques des producteurs, les attentes des consommateurs et le respect de l'environnement (Bonny, 1997). Les fermes retenues sont gérées par des exploitants attentifs aux enjeux sociétaux et capables de bien expliquer leurs pratiques lors de visites et de débats sur l'agriculture avec des publics composites.

La circulation transversale des informations entre agriculteurs dans leurs mises en pratique

Un éclairage des interactions complexes, sur le terrain, par la sociologie

En marge du modèle descendant et dominant, la création des CETA dès l'après-guerre s'inscrit dans un schéma ascendant : ce sont les agriculteurs qui partent de leur expérience de praticiens pour identifier les questions à poser à la recherche. Plus largement, les conseillers savent que les différents groupes contribuent à la diffusion de l'agronomie dans leurs contextes locaux : c'est un fait d'expérience ancré dans le développement, que nous explicitons en nous référant aux travaux en sociologie.

Darré (1986) écrit : « La production et la transformation des façons de faire (pratiques) et des façons de voir ou de concevoir les choses (représentations ou conceptions) sont une activité le plus souvent collective qui procède des discussions, des observations et des échanges d'idées que les agriculteurs établissent dans leurs réseaux locaux de communication. » Les connaissances des agronomes font l'objet d'un processus d'appropriation dans ces réseaux locaux : compréhension, réinterprétation, mise à l'épreuve, ajustements.

Les savoirs locaux (ou « savoir-faire locaux », ou « savoirs paysans ») sont singuliers, situés et contextualisés. Résultant des nombreux échanges d'expériences entre pairs au fil des saisons, ces savoirs empiriques sont circonscrits à un lieu et intègrent les risques liés au milieu. Les connaissances pratiques contiennent des règles pour savoir comment agir, issues de leurs apprentissages, de tests et de comparaisons entre situations locales ; elles évoluent par des discussions entre agriculteurs, notamment lors d'un constat d'inadaptation des règles par rapport à un changement de situation ou lors de l'apport de connaissances technico-scientifiques nouvelles, réinterprétées et faisant sens localement. L'apport de connaissances nouvelles peut être issu de sources très variées : un agriculteur appartenant à plusieurs groupes, un conseiller, un voyage d'étude, modalité souvent efficace pour impulser des changements (Compagnone, 1992).

Agronomes et agriculteurs ont des systèmes différents de pensée ou de connaissance de la réalité : les dimensions économiques, organisationnelles et sociales sont souvent prédominantes par rapport à l'agronomie pour les agriculteurs, et leurs pratiques résultent souvent d'une hybridation entre connaissances technico-scientifiques et savoirs locaux.

Les vecteurs de la circulation transversale : groupes et réseaux

La vulgarisation puis le développement agricole ont reposé sur un maillage territorial très dense de différents groupes. Ils ont constitué des vecteurs très importants dans la dynamique de découverte, d'appropriation et de partage des connaissances et d'innovations en agronomie par les agriculteurs.

La régression du nombre d'exploitations et l'augmentation de leur taille ont progressivement modifié le périmètre des groupes, souvent identifiés hier à l'échelle de la commune. Toutefois, les NTIC ont engendré en contrepartie une montée en puissance des réseaux sociaux : les groupes, loin d'être isolés, sont interconnectés au sein de territoires plus vastes que le local. Par ailleurs, les enjeux environnementaux ainsi que l'émergence du périurbain ont aussi conduit à un renouvellement des groupes.

Quelles évolutions globales et quels enjeux à venir de la fonction de diffusion ?

Les travaux en sociologie montrent que l'efficacité de la diffusion repose sur une articulation entre le transfert vertical de connaissances relatives au fonctionnement de l'agroécosystème et leur mise en discussion transversale entre agriculteurs dans leurs contextes locaux. Ce constat est à moduler selon la complexité des informations : si certains messages techniques simples sont adoptés assez aisément par une diffusion verticale, les sujets à caractère plus systémique et plus complexe font nécessairement l'objet d'adaptations et d'ajustements aux conditions locales dans le cadre de réseaux de dialogues aux configurations très variées : au-delà de l'exemple emblématique des CETA, citons les techniques culturales simplifiées, l'agriculture biologique, l'agriculture de conservation et ses variantes.

La prédominance de la diffusion verticale durant l'après-guerre peut se comprendre dans la mesure où les connaissances en agronomie faisaient l'objet de recettes assez simples. L'émergence de l'agronomie systémique et la création des outils et méthodes de la démarche clinique ont conforté la nécessité et la richesse de la diffusion transversale entre praticiens. La diffusion de l'agronomie a été particulièrement dynamique, avec l'appropriation des méthodes élaborées par la recherche, la compréhension des pratiques des agriculteurs, la formation, et plus récemment la valorisation de leurs savoirs ; la diffusion a contribué à la reconnaissance de l'agronomie dans un champ social élargi au niveau des territoires et de l'environnement global avec l'agroécologie.

L'application des technologies numériques de l'information et de la communication ouvre des perspectives importantes pour la diffusion de l'agronomie (sous réserve que ce champ ne soit pas confisqué par un tiers pilotant les parcelles en lieu et place de l'agriculteur), et pour le partage des connaissances issues de la recherche agronomique, et de l'expérience et des connaissances pratiques des agriculteurs et des agronomes du système de développement agricole à travers les espaces de dialogue et de mise en commun que peuvent être les réseaux sociaux.

⏩ Conclusion

La contribution du système de développement agricole à la « fabrique de l'agronomie »

La chronique des faits marquants durant la période étudiée révèle un élargissement des problématiques posées : la diversité croissante des thèmes abordés et des actions entreprises constitue une contribution à l'extension de l'agronomie (parcelle, exploitation, territoire). La grille transversale et systémique retenue pour approfondir l'analyse des actions portées par les différents métiers révèle le rôle central du diagnostic agronomique, socle commun aux cinq fonctions identifiées : acquisition de références, innovation, expertise, accompagnement et diffusion.

Le déploiement et la mise à l'épreuve des concepts, méthodes et outils de l'agronomie dans une gamme de situations très diversifiées (milieux, productions, exploitations, régions) ont conduit les agronomes du système de développement agricole à structurer des référentiels régionaux, à contextualiser les itinéraires techniques puis les systèmes de culture, à élaborer des tableaux de bord pour raisonner leur conception et leur pilotage, à concevoir des innovations systémiques, à préciser ou à remettre en cause des domaines de validité des règles de décision et les conditions pour optimiser certaines pratiques, ou encore à mobiliser leur expertise.

Dans la relation de proximité avec les agriculteurs, les agronomes ont mobilisé certains outils de la démarche clinique en agronomie pour observer la diversité et la singularité des situations, comprendre les logiques sous-jacentes aux pratiques et entrevoir avec eux les marges de progrès accessibles. L'accompagnement sur le terrain facilite l'appropriation des savoirs agronomiques par les agriculteurs et, réciproquement, le repérage de leurs savoirs pratiques par les agronomes ; c'est principalement par leur capacité à identifier des situations particulières génératrices de nouveaux questionnements posés à la recherche et/ou d'innovations que les agronomes du système de développement agricole, et les agriculteurs eux-mêmes, individuellement ou en groupes, contribuent alors à l'enrichissement de l'agronomie.

La diffusion, enjeu politique, historique et constant, a fait l'objet d'un investissement très conséquent des agronomes du système de développement agricole, dans la logique dominante *top-down* du modèle diffusionniste, sachant que la circulation des informations entre agriculteurs, orale et interactive, se révèle essentielle, et que les témoignages entre pairs, en groupe ou en réseau, restent puissants pour impulser des changements de pratiques (Compagnone *et al.*, 2015).

Les déterminants pour l'optimiser

Le rythme de l'évolution des connaissances et des méthodes en agronomie ainsi que le renouvellement rapide des problématiques issues du terrain posent la question centrale de la formation permanente des agronomes du système de développement agricole. La formation Relance agronomique (1981-1996) a créé un lien souvent durable entre les formateurs, acteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur, et les « apprenants » ainsi qu'entre les communautés des « apprenants », lien propice à la capitalisation des expériences et des connaissances dans le temps. En 2011, la formation « Conseiller demain en agronomie » est finalisée sur le renouvellement des

compétences au regard des multiples enjeux récents, questionnant les agronomes dans leurs pratiques (Auricoste *et al.*, 2013). Toutefois, la durée plus réduite de cette formation, sans mémoire, est révélatrice des difficultés de financement du conseil : le rapport final du projet, initié au sein du GIS Relance agronomique, sur l'avenir du système de recherche appliquée et de développement à l'horizon 2025 aborde les financements publics et privés octroyés au développement agricole et la nécessité de réfléchir à l'équilibre des ressources humaines et économiques entre les composantes du continuum recherche-développement (ACTA, 2016). La question apparaît d'autant plus cruciale que la préservation des « biens publics » que sont les ressources en eau et en biodiversité exige de maintenir les financements publics à la hauteur des enjeux.

Au terme de l'analyse, réaffirmons l'importance des coopérations déclinées sous différentes modalités entre agronomes du système de développement agricole, de la recherche et de l'enseignement : les synergies apportent une valeur ajoutée pour optimiser les actions ; le Comifer ou les GIS créent les conditions pour que différentes structures mutualisent leurs ressources pour améliorer les pratiques et connaissances en agronomie. La fluidité induite par ces décloisonnements apparaît déterminante au regard des enjeux à relever.

Les agronomes du système de développement agricole se trouvent à un carrefour entre la recherche et les agriculteurs, mais aussi entre l'État et les responsables professionnels, sans oublier les collectivités territoriales et en particulier les conseils régionaux. Dans ce contexte général, les situations locales et régionales que vivent les agronomes sont très variables : lorsque les visions politiques sont alignées sur une conception partagée du développement territorial, le métier d'agronome exercé en synergie avec les responsables professionnels est passionnant ; lorsque les visions sont discordantes (Le Guen, 2008) ou que les relations sont conflictuelles, le même métier devient difficile ! L'Association française d'agronomie, carrefour des métiers, peut favoriser les débats que génèrent ces questions, en particulier en région, et être un lieu de valorisation de l'expérience de terrain des agronomes du système de développement agricole, riches de savoirs agronomiques à partager : les conseillers apportent une valeur ajoutée déterminante dans la mise en pratique des concepts et outils sur des situations concrètes de terrain, toujours renouvelées. Les dispositifs d'échanges sur le métier pour faciliter l'acquisition des connaissances et les transferts d'expériences nous paraissent aussi très intéressants (Cerf *et al.*, 2016).

Les enjeux à venir pour les différents acteurs

Une évolution marquante de l'accompagnement des agriculteurs en proximité est sa complexification croissante, dans un contexte concurrentiel affirmé, favorable à sa marchandisation ; l'agronomie n'échappe pas à cette évolution générale (Petit *et al.*, 2011). Au cours de la période étudiée, coopératives et négoces ont connu une extension continue ; et depuis les années 2000, les coopératives, en contact avec trois agriculteurs sur quatre (Filippi et Frey, 2015), devenues des entités économiques d'envergure internationale pour certaines, ont créé des services agronomiques et développé des compétences et des outils de gestion pour les agriculteurs ; elles ont aussi offert à leurs adhérents la possibilité de participer à des démarches innovantes telles que les Réseaux Dephy, l'agriculture durable ou l'agriculture écologiquement intensive, et prennent pied dans le dispositif enseignement-recherche par le biais de chaires d'entreprises.

Une refondation du système de développement agricole se dessine ainsi, avec des enjeux à trois niveaux :
– régional, où l'intérêt général serait de constituer des pools de recherche-développement structurés et performants entre chambres régionales d'agriculture, instituts techniques agricoles, organismes d'approvisionnement et de collecte, organismes nationaux à vocation agricole et rurale, dans un contexte où les conseils régionaux ont un rôle de financement déterminant. Dans une telle perspective de réorganisation des ressources au niveau régional, l'expérience d'Agro-Transfert en Picardie, connectée à la recherche publique, demeure une innovation à laquelle se référer ;
– local, où, aujourd'hui, les coopératives, voire le négoce privé, disposant de réseaux de techniciens numériquement très conséquents par rapport aux chambres d'agriculture, assument fréquemment le conseil technique, tactique, au quotidien, sachant que leur intérêt pour le conseil stratégique relatif à l'évolution des systèmes de culture est aussi manifeste. D'ores et déjà, une nouvelle répartition des missions entre les organismes d'approvisionnement et de collecte et les chambres d'agriculture s'esquisse dans certains départements à propos de l'agronomie, qui devient, par la pluralité de ses niveaux de mise en œuvre, un enjeu de positionnement stratégique auprès des agriculteurs. Ces derniers, au demeurant de mieux en mieux formés, un réel atout pour le devenir de l'agronomie (Cancian et *al.*, 2016), sont aussi de moins en moins nombreux, un réel handicap pour faire valoir leur point de vue dans les multiples structures de concertation et de négociation interférant sur leurs pratiques. Dans ce contexte de transitions multiples, le devenir des chambres d'agriculture paraît très lié à leurs capacités à être acteurs du développement territorial, en plein renouveau, en acceptant de partager et de gérer, sous réserve de réciprocité, les enjeux de l'agriculture avec les autres parties prenantes des territoires, espaces de rencontre et de gestion des problématiques collectives et transversales ;
– global, recouvrant d'abord des aspects méthodologiques et organisationnels avec les interrogations récurrentes sur le modèle diffusionniste, qui reste dominant et pourrait se renforcer avec les évolutions technologiques en cours sur l'acquisition des données et leur traitement. Un enjeu global en agronomie dans le système de développement agricole, face aux transitions en cours vers la durabilité des systèmes, est donc de donner plus d'autonomie et de capacité d'innovation aux agriculteurs pour résoudre la diversité des situations locales, orientation plus pertinente qu'un encadrement par des réglementations et des prescriptions normatives. À ce niveau global, il convient aussi d'être attentifs à l'évolution du champ d'action des agronomes, dans le sens proposé par Duru (2019) avec la démarche *One Health*, pour contribuer à l'amélioration de l'alimentation et de la santé des populations, en limitant ou en corrigeant les impacts locaux et globaux pouvant déboucher sur des bouleversements et des crises d'origine multifactorielle. Une question cruciale pour répondre en partie à cet enjeu est de favoriser l'installation de nouveaux agriculteurs, notamment en périurbain, afin de conforter l'agriculture artisanale, en circuits courts, en marge des exploitations majoritaires de grande taille ; des initiatives sont déjà prises en ce sens par les collectivités territoriales.

L'impact des politiques publiques sur le développement de l'agronomie est discuté dans le chapitre suivant, mais il nous paraît utile d'évoquer brièvement ici leur influence sur l'exercice des fonctions des agronomes du système de développement agricole. Nous retiendrons que l'évolution des différentes politiques successives génératrices de problématiques nouvelles ont été source d'évolution des compétences des agronomes,

mais que les ruptures qu'elles ont engendrées, les chevauchements entre la politique agricole et les autres politiques publiques, régionales, nationales ou internationales, avec leurs différents règlements d'application et leurs différents contrôles, ont pu compliquer les relations des agronomes avec les agriculteurs et leurs représentants d'une part, et avec les représentants des ministères concernés d'autre part, au détriment de l'efficacité globale du dispositif. Le plus souvent, l'introduction dans l'application de ces règlements de la souplesse nécessaire pour la gestion des systèmes biologiques et vivants aurait probablement permis une adhésion des parties et une efficacité améliorée des actions conduites au sein du système de développement agricole : encadrer pour orienter en laissant aux acteurs locaux et régionaux latitude et souplesse constitue un enjeu déterminant pour le déploiement à venir de l'agronomie sur le terrain.

Les auteurs remercient vivement Jérôme Mousset (Ademe, ex-Agro-Transfert Picardie), Rémi Koller (Association pour la relance agronomique en Alsace), Jean-Marie Larcher (ex-Coopérative Épis Centre/Axéréal) pour leur contribution en amont de la rédaction de ce chapitre ainsi que François Laurent (Arvalis-Institut du végétal) et Pierre Morlon (Inra) pour la mise à disposition respectivement des revues *Perspectives agricoles* et *Bulletin technique d'information*.

⏩ Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Classées chronologiquement, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Rufin G., 1950. Trois années de propagande et de vulgarisation dans une D.S.A. d'importance moyenne. *Bulletin technique d'information,* 52, 535-542.

Chazal P., Dumont R., 1955. *La Nécessaire révolution fourragère et l'expérience lyonnaise*. Le Journal de la France agricole, 170 p.

Coppenet M., 1956. *Le Problème du chaulage à la lumière de la science agronomique moderne*. CELAC Ed., 32 p.

Gros A., 1957. *Engrais, Guide pratique de la fertilisation*. La Maison rustique, Paris, 356 p.

Sebillotte M. 1969. Le tour de plaine. Facteur de rentabilité dans l'entreprise agricole. *Entreprise agricole FNCETA*, 1534, 15-23.

Remy J.C., Viaux P., 1980. Évolution des engrais azotés dans le sol. *Perspectives agricoles*, 43, 5-9.

Gerbaux F., Müller P., 1984. La naissance du développement agricole en France. *Économie rurale*, 159, 17-22.

Capillon A., Kockmann F., Fournet M.J., 1988. Diagnostic sur le travail du sol en Bresse louhannaise, conditions d'extrapolation des références. *Perspectives agricoles*, 126, 55-69.

Vinatier J.-M., Kockmann F., Fabre B., Gautronneau Y., Michaux F., 1988. *Fertilité physique et travail du sol.* Chambre régionale d'agriculture Rhône-Alpes-Classeur à usage des techniciens, 118 p.

Monnier G., Thevenet G., Lesaffre B., 1994. *La simplification du travail du sol*. Colloque Inra-ITCF-Cemagref, mai 1991, Paris, Inra, 172 p.

Mousset J., Aslahé C., Billa P., Boiffin J., Chatelin M.H., Chopplet M., François M., Gandon H., Groëll F., His M., Hopquin J.P., Klein D., Masset B., Papy F., Quièvreux D., Soler L.G., 1996. Le conseil agro-équipement en Picardie : Mécagro. *Actes du colloque « Aide à la décision et choix de stratégies dans les entreprises agricoles »*, Laon, Maison des Arts et Loisirs, 10 et 11 décembre 1996, Inra-Conseil régional de Picardie-Biopôle.

Lanquetuit D., Sebillotte M.,1998. Ferti-Mieux : une expérimentation sociale pour gérer les risques en partageant des connaissances scientifiques. *In : Agriculture et environnement. Les produits entraînés par l'eau*. Colloque d'hydrotechnique, 159e session du comité scientifique et technique. Société hydrotechnique de France, Paris, 18 et 19 novembre 1998, 145-155.

Champolivier J., Gasquez J., Messéan A., Richard-Molard M., 1999. Management of transgenic crops within the cropping system. *In*: *Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops* (Lutman P.J.W., ed.), Symposium Proceedings 72 BCPC, 233-240.

Limaux F., Meynard J.M., Recous S., 2001. Déclencher la fertilisation azotée du blé : bases théoriques et principes généraux. *Perspectives agricoles*, 273, 62-70.

Fabre B., Kockmann F., 2002. La pratique du chaulage : de la construction du référentiel à la démarche de conseil en exploitation. *Étude et Gestion des sols*, 9 (3), 213-224.

Evrard P., Vedel G., 2003. Développement agricole : réinventer le modèle à la française. *Club Demeter*, cahier n°11, 69 p.

Koller R., Sauter J., Pierillas S., Virot M., 2004. Classification des bassins-versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires. *Étude et Gestion des sols*, 11 (3), 219-234.

Munier-Jolain N., Morlon P., Macé K., Savois V., Kubiak P., Quéré L., 2005. Mieux connaître les processus de prises de décision des praticiens pour adapter les préconisations à un environnement multicritère complexe et développer des outils d'aide à la décision efficaces : le cas de la lutte contre les mauvaises herbes. *Symposium Programme PSDR*, 9-11 mars 2005, Lyon, 16 p.

Kockmann F., 2007. L'agriculture interrogée par le développement durable : une expérience en Saône-et-Loire. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 54, 65-79.

Petit M.S., Reau R., Deytieux V., Schaub A., Cerf M., Omon B., Guillot M.N., Olry P., Vivier C., Piaud S., Minette S., Nolot J.M., 2012a. Systèmes de culture innovants : une nouvelle génération de réseau expérimental et de réseau de compétences. *Innovations agronomiques*, 25, 99-123.

Soulard C.T., Kockmann F., 2012. Construire un projet territorial agroenvironnemental. Le concept de système agraire revisité. *In : Géoagronomie, paysage et projets de territoire. Sur les traces de Jean-Pierre Deffontaines* (Lardon S., ed.). Éditions Quæ, Versailles, et NSS Dialogues, 271-287.

Bell A., Michaud A., Schaub A., Trochard R., Sagot S., Dumont S., Parnaudeau V., Leclerc B., Heurtaux M., Houot S., 2013. Réseau PRO, référencement des Produits Résiduaires Organiques dans un système d'information mutualisé. *In : 11es Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse*, Comifer-Gemas, novembre 2013, Poitiers.

Compagnone C., Lemery B., Petit S., Kockmann F., Moretty P., 2013. Forme et réforme organisationnelles des chambres d'agriculture. Une lecture à partir des régimes d'action des conseillers. *Économie rurale*, 337, 41-58.

Laurent F., Richard G., 2014. Introduction : Quelle place pour le travail du sol dans les enjeux de durabilité des futurs systèmes de culture ? *In* : *Faut-il travailler le sol ?* (Labreuche J., Laurent F., Roger-Estrade J, eds). Éditions Quae et Arvalis-Institut du végétal.

Trouche G., 2014. Drainage. *In* : *Les Mots de l'agronomie. Histoire et critique* (Prévost P., Morlon P., dir.). INRAE-ACT, https://mots-agronomie.inra.fr

Boiffin J., Chopplet M., 2015. L'articulation recherche-développement et son organisation territoriale, défi pour l'agronomie : l'expérience Agro-Transfert. *Agronomie, environnement & sociétés*, 5 (2), 55-63.

Cerf M., Guillot M.N., Orly P., Omon B., Petit M.S., 2016. Renouveler la place du conseiller dans la production de savoirs agronomiques dans l'action : le rôle de dispositifs d'échange sur le métier. *Agronomie, environnement & sociétés*, 6 (2), 175-182.

Van Dijk P., Rosenfelder C., Scheurer O., Duparque A., Martin P., 2016. Une approche agronomique territoriale pour lutter contre le ruissellement et l'érosion des sols en Alsace. *Agronomie, environnement & sociétés*, 6, 35-47.

Kockmann F., Pouzet A., Omon B., Paravano L., Cerf M., 2019. La démarche clinique en agronomie : sa mise en pratique entre conseiller et agriculteur. *Agronomie, environnement & sociétés*, 9 (2), 15-25.

Gauffreteau A., Debaeke P., Lorgeou J., 2019. *Innovations variétales.* 2009-2019. Retour sur 10 ans du GIS GC-HP2E, « Coopérative » de projets. https://www.gchp2e.fr/content/download/3962/40368/version/1/file/INRA_TRANSFERT_LIVRET-GCHP2E_EXE_PAP_72DPI.pdf

Chapitre 9

Politiques publiques et agronomie : avec, pour, ou malgré tout ?

Rémi Koller, Marc Benoît

Dans ce chapitre, nous ambitionnons d'étudier le double lien entre politiques publiques et agronomie : d'une part, la place (ou les places) de l'agronomie dans la genèse, la définition, la mise en œuvre ou l'évaluation de certaines politiques publiques, et, d'autre part, les évolutions des outils, méthodes et concepts de l'agronomie induites par la mise en œuvre de ces politiques publiques. Ce chapitre analyse les relations ainsi entretenues sur le temps long. Nous retenons la définition suivante d'une politique publique : « les interventions d'une autorité investie de puissance publique et de légitimité gouvernementale sur un domaine spécifique de la société ou du territoire. [...] La sociologie politique utilise ce concept afin d'analyser l'ensemble de ces interventions dans les différentes étapes de leur mise en œuvre, aussi bien que dans leur genèse ou au travers de leurs conséquences » (Grawitz *et al.*, 1985, *in* Thoenig, 2010).

Il y a autant de politiques publiques que d'enjeux majeurs arrivant à l'agenda politique. D'où une multiplicité de politiques pouvant affecter une même activité, ici l'agriculture. Les produits de cette activité assurent l'alimentation de la population et touchent ainsi à la sécurité nationale et à la santé, mais l'agriculture concerne aussi l'environnement, l'économie, les équilibres sociaux, l'occupation du territoire, l'éthique même (comme le bien-être animal), etc. Ces enjeux généraux se déclinent en multiples aspects plus techniques pris en charge par des politiques qui se succèdent au cours de ces soixante-quinze dernières années. Tout au long de cette période, nous pouvons cependant identifier des séquences très différenciées des politiques publiques générales concernant l'agriculture, en particulier les conditions économiques de sa mise en œuvre et de son accompagnement, mais aussi les évolutions concernant les modalités générales de l'action de l'État. Ces séquences constituent un cadre général dans lequel des politiques plus thématiques s'inscrivent.

⏩ Aborder les politiques publiques

Les politiques publiques sont un sujet d'étude en soi, par exemple en sociologie politique ou en droit comparé. Des approches développées dans ces disciplines, nous avons retenu les trois éléments de méthode suivants comme étapes de travail premières.

Une politique publique doit être analysée à partir de faits établis. Nous devrons nous intéresser non pas « à ce qu'une autorité est censée faire selon le mandat qui l'institue, mais à ce qu'elle fait et ce qu'elle renonce à faire face à une situation ou à un problème », et aussi à « ses actes concrets tels qu'ils se mettent en œuvre au quotidien, et la manière dont ils modifient les problèmes et perturbent les situations dans la société » (Thoenig, 2010) : il nous faut relever des faits, lois, règlements, circulaires, décrets, arrêtés, création ou démantèlement d'institutions publiques qui traduisent la volonté réelle des autorités publiques d'agir sur une question explicitée. Ceci oblige également à choisir et à expliciter le ou les enjeux concernés.

Il faut ensuite reconstituer une chronologie et mettre au jour l'enchaînement de ces faits. Une politique publique est rarement immédiatement lisible, surtout si elle se déploie sur le long terme : il faut établir son histoire, c'est-à-dire la succession chronologique des faits et leurs liens forts aux faits précédents, ou au contraire les ruptures qu'ils traduisent. Il faut aussi essayer de repérer les « "non-actes" : ce que [les acteurs publics] refusent ou évitent de faire » (Thoenig, 2010).

Il faut enfin situer ces faits comme éléments constitutifs d'un « cycle de politique publique ». La notion de cycle d'une politique publique a été introduite dans les années 1970 pour décrire comment on passe de revendications exprimées au sein de la société à des décisions et à des actions des autorités publiques. Les étapes classiquement reconnues sont la mise à l'agenda (depuis l'émergence d'un problème, la perception des enjeux publics et privés concernés, jusqu'à la mise à l'agenda proprement dite), la formulation des politiques, la prise de décision (l'adoption d'un programme législatif ou d'actions, etc.), la mise en œuvre et l'évaluation des politiques (Howlett et Ramesh, 2003, *in* Savard, 2012). Ainsi, les faits relevés précédemment peuvent se référer à l'une ou l'autre de ces étapes.

Dans cette histoire explicitée, il est alors possible de s'interroger sur la mobilisation des savoirs et expertises de l'agronomie aux différentes étapes du cycle ainsi que sur celle des agronomes parlant de différents points de vue d'acteurs de l'agriculture : recherche, développement, organisations professionnelles, économiques, structures territoriales, État. Cette étape repose elle aussi sur l'identification de faits techniques, scientifiques, institutionnels, et de leurs enchaînements.

Le cadre que nous proposons ainsi pour analyser les relations entre agronomie et politiques publiques relève d'un double questionnement : d'une part, quelle place occupent l'agronomie et les agronomes dans les différentes étapes du cycle d'une politique publique ? Quand est-elle mobilisée et pourquoi ? D'autre part, quels sont les modes de production de l'activité des agronomes confrontés aux politiques publiques ? En quoi le déploiement d'une politique publique génère-t-il questionnements et productions agronomiques ?

De notre propre expérience d'agronomes impliqués dans la mise en œuvre des cycles de certaines politiques publiques, nous avons distingué *a priori* cinq modes principaux de relations qui nous serviront de fil conducteur pour notre analyse :

– la mobilisation explicite d'une expertise destinée à instruire ou à inspirer une politique publique. Cette mobilisation relevant d'une commande est très conditionnée aux thèmes explorés, à l'agenda et aux sorties attendues ;

– la mobilisation des connaissances agronomiques en vue d'instruire un règlement précis avec, en situation limite, l'instrumentalisation de celles-ci pour justifier d'un règlement (ou de dérogations) ; cette mobilisation est également très encadrée sur les questions, méthodes, sorties et contenu de l'agronomie mobilisée ;

– la constitution d'une synergie entre experts agronomiques et pouvoirs publics pour l'élaboration d'une politique publique ; cette synergie s'opère souvent lors de « crises » majeures de l'agriculture : reconstruction d'après-guerre et plan Marshall, crise de la vache folle, etc. Par exemple, la création à la fin du XIXe et au début XXe siècle des stations agronomiques ou des laboratoires d'analyse départementaux, dans la perspective de protéger les agriculteurs contre les fraudes relatives aux fertilisants, fut une dynamique génératrice d'agronomie ;
– l'auto-saisine, expression d'une anticipation et d'interpellations issues de la communauté scientifique à partir des points de vue originaux qu'elle peut construire sur l'avenir et qui seront traduites ou pas en politique(s) publique(s) ;
– l'invitation à la prudence, voire l'expression d'une réticence, c'est-à-dire l'analyse critique de politiques publiques ambitieuses, mais peut-être pas assez réfléchies dans leur efficacité réelle et l'ensemble de leurs effets.

Pour ce travail, à défaut de pouvoir traiter de la totalité des politiques publiques qui croisent le champ de l'agronomie, ce qui constituerait une tâche immense, nous avons retenu d'explorer trois thématiques reconnues tant par les agronomes que par les agriculteurs pour leur importance dans l'efficacité de la production : la gestion de la fertilisation azotée et de l'azote plus généralement, la gestion des sols et l'aménagement foncier, la protection des cultures. En effet, d'une part, les règlements et plans d'action publics les concernant sont nombreux et se déploient sur toute la période étudiée et, d'autre part, leurs interactions avec l'agronomie ont été fortes à un moment ou à un autre de leur histoire. Enfin, ces histoires se poursuivent au présent et incitent à réfléchir concrètement au futur des relations entre agronomie et politiques publiques. Elles constituent ainsi un bon support pour l'exploration de notre cadre d'analyse.

Cependant, avant d'aborder ces trois histoires singulières, il nous est apparu utile de proposer une brève histoire des politiques publiques générales et de leurs déclinaisons concernant l'agriculture et les agriculteurs, car elles constituent le cadre de référence contingent dans lequel se déploient les politiques agissant sur chacun des champs thématiques retenus.

Ensuite, nos trois histoires ne se donnent pas à lire d'évidence. Aussi, et en application des principes énoncés précédemment, nous nous sommes attachés pour chacune à reconstituer la chronologie des différentes politiques publiques les affectant, à tenter de reconstruire l'histoire de l'émergence des enjeux concernés et de leur inscription à l'agenda politique, à décrire brièvement le contenu de celles-ci (en quoi mobilisent-elles des connaissances issues de l'agronomie ?), avant d'esquisser une analyse de la place de l'agronomie dans l'histoire des politiques publiques passées et esquisser un futur possible. À travers les trois cas traités, nous exposerons les relations entre politiques publiques et agronomie par grandes périodes chronologiques en référence à des dominantes, des ruptures dans ces relations. Pour chacune, et autant que faire se peut, nous éclairerons les différentes étapes reconnues des cycles des politiques publiques, et nous identifierons les modes principaux de relations entre agronomes et politiques publiques.

Enfin, nous discuterons les points critiques majeurs que nous avons identifiés dans cette étude partielle des relations entre agronomie et politiques publiques et nous conclurons en identifiant des éléments de poursuite de cette réflexion et leurs implications pour les agronomes.

⏩ Une brève histoire des politiques publiques générales et de leurs déclinaisons agricoles

Les politiques publiques concernant l'agriculture sont un élément constitutif des politiques publiques générales qui traduisent un projet global de société constitué autour de valeurs. Elles incluent la conception même de l'action publique, c'est-à-dire le rôle de l'État et des autres composantes des pouvoirs publics dans le fonctionnement et les régulations de « politiques publiques ». Celles concernant l'agriculture déclinent ce projet en actions et en règlements concrets qui vont orienter ou concerner cette activité : en premier lieu la politique agricole proprement dite, mais aussi les politiques de la recherche, de l'enseignement, de la santé, de l'environnement, etc.

Pour mieux situer les histoires thématiques (au sens de l'agronomie) que nous allons analyser, il convient de disposer d'une compréhension minimale des politiques publiques majeures qui les conditionnent, qu'elles soient nationales ou européennes. En fixant des attentes vis-à-vis des performances attendues de l'agriculture française, elles orientent en partie les travaux relatifs à l'agronomie et aux techniques agricoles permettant de les atteindre.

Avant 1940 : une politique de maintien du monde rural

Pour comprendre les formidables transformations de l'agriculture à partir de 1945, il nous faut considérer sa situation initiale. À la fin du XIXe siècle, l'État se situe dans un cycle libéral-industriel jusqu'à la crise de 1929 : le rôle des politiques publiques n'est pas de transformer la société qui évolue sous l'effet du capitalisme industriel, mais d'accompagner le développement économique tout en préservant l'ordre social (Muller, 2018). « La fonction économique de l'agriculture dans le système capitaliste est ainsi clairement définie : fournir les produits agricoles au prix le plus bas possible, épargner pour la banque et l'industrie, servir de matelas en période de récession, devenir un débouché de plus en plus important pour les industries et le commerce agroalimentaire et constituer un réservoir de main-d'œuvre à la disposition des autres secteurs » (Gervais *et al.*, 1976). Cette orientation se traduit par une tension entre un protectionnisme conservateur représenté et défendu par les mouvements agrariens, pour lesquels il s'agit de freiner l'exode rural et de préserver l'ordre social caractérisé par une prééminence des élites territoriales dans leur légitimité locale, et une intégration accélérée à l'économie de marché, en contenant les prix agricoles au plus bas niveau possible sans décourager la production.

Avant 1940, la politique publique est limitée au soutien des prix agricoles, obtenus par une protection douanière aux frontières (loi Méline de 1892 à 1914) et par une régulation tardive des marchés (création de l'Office national interprofessionnel du blé en 1936). La modernisation n'est pas une priorité et se trouve même freinée par ce protectionnisme qui met l'agriculture française à l'abri relatif de la concurrence.

1945-1959 : l'engagement de la modernisation de l'agriculture par l'État

Dès avant la fin de la Seconde Guerre mondiale, les Alliés anticipent la question de la sécurité alimentaire dans les pays libérés. La conférence entre les représentants de 44 nations, tenue à Hot Springs aux États-Unis en 1943, considère que la production alimentaire doit et peut être fortement augmentée, sous la responsabilité des États.

Elle pose « l'expansion de l'économie mondiale dans son entier » comme condition d'une production et d'une disponibilité suffisante en nourriture pour les populations. Elle pose aussi les bases de la création de la FAO en 1945.

En France, à partir de 1945, un État particulièrement volontariste et planificateur impulse cette modernisation. Celle-ci se traduit par des politiques sectorielles affirmées et révisées (agriculture, santé, éducation, défense) et l'impulsion de nouvelles politiques plus transversales : recherche, aménagement du territoire, urbanisme, social. Ce volontarisme est incarné par la création du Commissariat général au plan en 1946. En matière agricole, le Gouvernement provisoire de la République adopte dès le 17 octobre 1945 une réforme structurelle issue du programme du Conseil national de la résistance du 15 mars 1944 : un nouveau statut du fermage et du métayage, apportant plus de sécurité aux preneurs et facilitant ainsi l'investissement dans les améliorations foncières « en vue d'assurer un meilleur rendement des biens ruraux » (Conseil économique, 1949). Un rapport de René Dumont de 1946 pointe les insuffisances techniques de l'agriculture française (*in* Cornu *et al.*, 2018). « L'agriculture n'est plus comme autrefois un mode de vie, mais une véritable industrie biologique qui ne triomphera dans la lutte pour son existence que si elle sait mettre à son profit les immenses ressources de la science » (Demolon, 1946, *in* Cornu *et al.*, 2018).

Les moyens concrets mobilisés par l'État pour cette modernisation sont, d'une part, la vulgarisation du progrès technique sur trois axes principaux pour augmenter production et productivité : mécanisation, sélection variétale et fertilisation NPK. Cette vulgarisation est portée auprès des agriculteurs par les directions des Services agricoles, service extérieur du ministère de l'Agriculture présent dans chaque département. D'autre part, l'engagement d'une politique des structures vise à augmenter la taille des exploitations.

En appui, un soutien à la recherche agronomique sera apporté avec la création de l'Inra en 1946, institut de science appliquée ayant pour mission de conduire les travaux de recherche visant « l'amélioration et le développement de la production végétale et de la production animale et la conservation et la transformation des produits agricoles » (*in* Cornu *et al.*, 2018 ; et chapitre 6).

Les réticences d'une partie du monde agricole à cette modernisation à marche forcée sont réelles. Au nom de sa capacité à prendre des responsabilités individuelles et collectives, sa composante « paysans moyens modernistes » est cependant prête à assumer politiquement les conséquences de cette transformation, qui se traduira par le départ de nombreux exploitants et une accélération de l'exode rural (Muller, 2015).

1960-1981 : l'accélération de la modernisation et l'âge d'or de la cogestion du développement agricole

Après l'avènement de la Ve République en 1958, pour accélérer une modernisation de l'agriculture jugée trop lente et insuffisante, l'État arrête dès 1960 un ensemble de lois qui vont être considérées comme la « Charte agricole de la Ve République » : les lois d'orientation agricole de 1960 et 1962 (Gervais *et al.*, 1976). Le modèle visé est l'exploitation familiale capable de mettre en œuvre des techniques de production modernes sur une surface lui permettant de viser la parité de niveau de vie avec les urbains. Pour faciliter cette évolution, et en s'appuyant sur le courant représenté par le Centre

national des jeunes agriculteurs (CNJA) qui a fait sien ce modèle, il confie en quelques années aux organisations professionnelles agricoles l'application des mesures qui les concernent au travers de la création de structures dédiées, l'État conservant seulement le rôle de contrôle.

Ce transfert progressif concerne d'abord la vulgarisation agricole confiée aux groupes d'agriculteurs, qui échappe ainsi aux DSA (1959). Puis la politique des structures est transférée en 1966 avec la création du Centre national pour l'aménagement des structures des exploitations agricoles (Cnasea) et des Associations départementales pour l'aménagement des structures des exploitations agricoles (Adasea) en remplacement des organismes administratifs préexistants, pour une mise en œuvre délicate à assumer politiquement par l'administration. Enfin, les services extérieurs du ministère de l'Agriculture perdent une bonne partie de leurs compétences agronomiques tournées vers la vulgarisation, tandis que les chambres d'agriculture acquièrent en 1966 la responsabilité du développement agricole. Ces évolutions radicales vont affecter la capacité de prise en charge des questions sous un angle agronomique au sein du ministère de l'Agriculture, dont les ingénieurs d'agronomie se détachent du terrain pour rejoindre l'enseignement agricole (chapitre 7).

La nouvelle politique agricole française de modernisation de l'agriculture est soutenue par des orientations européennes convergentes, retenues dans le plan Mansholt de 1968 : il s'agit toujours d'augmenter la taille des petites exploitations en encourageant le départ des agriculteurs, et de moderniser les méthodes de production. L'un des instruments majeurs de la politique des structures proposé par l'Europe est le « Plan de développement », procédure destinée à soutenir le projet individuel de transformation/modernisation de l'exploitation agricole en facilitant les investissements. Associée aux mécanismes protectionnistes qui assurent les agriculteurs de toujours vendre à un prix garanti (prix minimal d'achat garanti, droits de douane variables sur les importations et aides aux exportations), la politique agricole commune (PAC) aboutit à la constitution d'une agriculture d'entreprise compétitive, accompagnée d'une forte réduction du nombre d'actifs agricoles : de 1962 à 1988, le nombre d'exploitants et salariés agricoles en France passe de 3,8 millions à 1,2 million (Forget *et al.*, 2019). Ainsi, dès les années 1970, l'offre en produits agricoles devient supérieure à la demande pour de nombreux produits.

Mais au niveau international, les années 1970 voient « la fin de toute une série de cycles historiques emboîtés, ouvrant sur une période d'incertitudes et d'ajustements successifs de l'ordre économique et politique mondial » (Cornu *et al.*, 2018) : c'est la fin des Trente Glorieuses considérées de 1946, fin de la Seconde Guerre mondiale, à 1973, année du premier choc pétrolier :
– fin du volontarisme d'État dans la conduite des affaires publiques, hérité en particulier du gaullisme en France ;
– fin du cycle de croissance intense en Amérique du Nord, en Europe et au Japon, et début du chômage et de l'inflation ;
– fin du cycle de développement des innovations issues du XIXe siècle (chimie, mécanique, électricité) qui étaient jusque-là vecteurs de la croissance ;
– contestation de l'ordre économique mondial à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1979 ;
– libéralisation des marchés agricoles internationaux ;
– contestation montante de la relation entre progrès scientifique, progrès économique et progrès social.

L'agriculture, même modernisée avec le soutien d'une PAC, est alors confrontée aux effets de ciseaux sur les prix qui résultent de la hausse du prix des intrants d'origine industrielle liés à l'énergie, et de la stagnation ou de la baisse des prix des produits agricoles.

1982-1992 : le virage de l'État vers la décentralisation et l'accélération d'une mondialisation économique

À partir des années 1980, la conception du rôle de l'État évolue vers un régime d'État-entreprise. L'intervention publique est interrogée sur son efficience, car l'État est perçu comme un fardeau pour le développement économique et social. Les nouvelles normes encore d'actualité aujourd'hui sont la limitation de la dépense publique, la modernisation de l'État, la remise en cause des politiques industrielles, l'ouverture des services publics à la concurrence (Muller, 2018).

En France, l'État entreprend de se transformer avec l'acte I de la régionalisation en 1983, qui renforce le pouvoir des conseils généraux et institue les régions en collectivités territoriales, sans compétences agricoles initiales.

Sur le plan des marchés, la PAC générant une offre excédentaire pour certains produits agricoles coûteuse à assumer, l'Union européenne entreprend de les contingenter, avec la mise en place en 1984 de quotas laitiers, droits individuels à produire à prix garanti. Par ailleurs, la libéralisation des échanges mondiaux, initiée en 1947 par le GATT (General Agreement on Tariffs and Trade), s'intensifie lors de l'Uruguay Round, cycle de négociations débuté en 1986. Il se traduira entre autres par la création de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) en 1995. Il intéresse particulièrement l'agriculture par l'engagement d'une réduction significative des droits de douane et des subventions agricoles. Une profonde réforme de la PAC va y adapter l'agriculture européenne en 1992, tout en réglant la question des excédents de production : les prix garantis aux agriculteurs sont diminués et, pour limiter le stockage des excédents, les agriculteurs doivent geler une partie de leurs terres, avec toutefois la possibilité de développer des cultures à usage non alimentaire sur ces jachères.

En contrepoint, les interrogations environnementales se développent : en 1986, la France ratifie la Convention de Ramsar de 1971 pour la conservation et l'utilisation durable des zones humides, et en 1987 le rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies, dit « rapport Bruntland », introduit le concept de « développement durable », c'est-à-dire un développement « qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

C'est dans cette période que le ministère de l'Agriculture protège l'appellation Agriculture biologique (loi d'orientation agricole de 1980), puis fixe la réglementation du label AB (1985), avant que l'Union européenne ne définisse son cahier des charges en 1992.

1993-2002 : l'agriculture européenne en concurrence mondiale et une prise de conscience environnementale affichée

L'acte majeur qui ouvre la période est cette réforme de la PAC de 1992, qui comporte une vraie rupture dans la mesure où elle rend explicite le soutien au revenu. Ce dernier

ne dépend plus tant du prix à la tonne (ramené au prix mondial) que des aides directes à l'agriculteur, fonction des surfaces cultivées et d'un rendement de référence moyen variable selon les départements. Cette orientation sera confirmée et intensifiée en 1999.

La même année, le Sommet de la Terre de Rio acte une prise de conscience des gouvernements de la nécessité d'engager des actions pour une gestion des questions environnementales dans plusieurs domaines : diversité biologique, changement climatique, lutte contre la désertification, élimination des produits toxiques, gestion durable des forêts, etc.

Durant cette période, les exigences environnementales deviennent une réalité concrète pour l'agriculture :
– la Directive européenne n° 91/676/CEE concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles (directive Nitrates) est adoptée en décembre 1991, et progressivement transposée dans la réglementation nationale au cours des années 1990. Elle va concerner une large proportion du territoire national ;
– la loi sur l'eau de 1992 comporte parmi ses objectifs, outre la protection de la qualité des eaux, la préservation des écosystèmes aquatiques, des sites et des zones humides, en opposition au drainage par définition ;
– les directives européennes Oiseaux (79/409/CEE, 1979) et Habitats (92/43/CEE, 1992) seront à l'origine du réseau de sites naturels ou semi-naturels de protection de la biodiversité Natura 2000. La constitution en France de ce réseau sera très contestée dans sa mise en œuvre, jugée technocratique par les acteurs du monde rural exploitant ces espaces, des forestiers aux agriculteurs en passant par les chasseurs (Charbonneau, 1997 ; Rameau, 1997) : le réseau français de sites ne sera prêt et validé par la Commission européenne qu'en 2007 ;
– la PAC elle-même intègre dès 1992 les préoccupations environnementales en introduisant la possibilité d'aides contractualisées sur une base de volontariat pour des pratiques favorables à l'environnement, les mesures agro-environnementales (MAE). Certaines d'entre elles viseront l'adaptation des pratiques agricoles aux exigences des sites Natura 2000.

Depuis 2003 : l'État décentralisateur

Pour l'agriculture, la réforme de la PAC de 2003 vise à se mettre en conformité avec les prescriptions de l'OMC sur la suppression des subventions à l'exportation des produits agricoles à la fin de 2013. Cette réforme achève le découplage des subventions et de la production : la plupart des aides directes perçues par les agriculteurs sont remplacées par un paiement unique par exploitation, indépendant de la production et calculé, en France, sur la base d'une référence historique. Par ailleurs, la « conditionnalité » des aides est introduite par la subordination de ce paiement unique au respect de 18 normes relatives à l'environnement, à la sécurité alimentaire et au bien-être des animaux. Dans le même esprit, la révision de la PAC en 2014 introduira des obligations supplémentaires appelées « bonnes conditions agronomiques et environnementales » (BCAE) : elles concernent le maintien de prairies, la diversité des assolements, la préservation d'éléments paysagers (arbres, haies, etc.). Cependant, du fait de nombreux aménagements dérogatoires à ces obligations, le « verdissement » de la PAC, tel que décliné en France, n'a pas permis d'améliorer l'état de l'environnement (Fosse *et al.*, 2019).

Enfin, cette nouvelle réforme n'a finalement pas d'effet positif sur l'emploi agricole (Forget *et al.*, 2019), en décalage avec les orientations européennes générales fixées au Conseil européen de Lisbonne de mars 2000, qui visent à renforcer l'emploi, la réforme économique et la cohésion sociale dans le cadre d'une économie fondée sur la connaissance.

En France, le mouvement de décentralisation engagé par l'État se renforce : en 2003, l'acte II de la régionalisation consacre l'autonomie financière des collectivités locales et conforte le transfert de certaines compétences ; l'acte III en 2015 voit la réorganisation des régions et une nouvelle distribution des compétences. L'État français abandonne ainsi progressivement une partie de sa centralité, aux bénéfices d'acteurs territoriaux reconnus. Régions, métropoles (créées en 2010) et PETR (Pôles d'équilibre territorial et rural, créés en 2014) deviennent des acteurs proactifs responsables des projets concernant leur territoire, passant contrat avec l'État pour leur réalisation. Certains politistes qualifient cette situation de « gouvernement à distance » par l'État (Epstein, 2006). Pour l'agriculture, cette orientation est visible dans le transfert de la gestion aux régions des aides destinées à accompagner le changement de pratiques agricoles, les mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) introduites par la révision française de la PAC en 2014. Cette orientation générale prépare ainsi l'émergence de nouvelles formes d'action publique mobilisant les forces vives d'un territoire pour l'élaboration de projets répondant à des enjeux locaux reconnus, mais diminue la lisibilité de l'action publique (naissance du « millefeuille territorial »).

Cette histoire brève nous raconte que sur la longue durée, depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, la politique agricole de l'État français ne vise qu'à définir les conditions économiques de réalisation de l'activité agricole en considérant qu'elle est une activité économique comme les autres, à laquelle des objectifs généraux sont assignés, correspondant aux valeurs et aux enjeux du moment : d'abord autonomie et sécurité alimentaire, puis capacité d'exportation dans un marché international concurrentiel, enfin capacité à contribuer à l'emploi et à la gestion de l'environnement. Ces orientations définissent à l'origine une doctrine reposant sur l'augmentation de la taille des structures dans un cadre d'exploitation familiale et la mobilisation d'un progrès technique univoque concernant au départ les améliorations foncières, la mécanisation, la sélection variétale et la fertilisation, auxquelles s'est ajoutée la protection phytosanitaire des cultures par des produits issus de la chimie de synthèse. Ces orientations ont été relayées par les différentes déclinaisons de la PAC arrêtée entre les membres de l'Union européenne depuis sa mise en œuvre initiale en 1962. À ce jour, les objectifs initiaux concernant la production ont été atteints, mais la PAC a montré ensuite ses limites dans son « incapacité à réorienter les systèmes agricoles vers des modes de production moins préjudiciables à l'environnement ou encore [à] garantir un revenu décent aux agriculteurs, notamment lors des crises » (Fosse *et al.*, 2019).

Si l'émergence des préoccupations environnementales a donné lieu à des infléchissements de la PAC, qui a progressivement intégré depuis 2003 des dispositifs de régulation d'application obligatoire (la conditionnalité, les BCAE) ou contractuelle (les MAE, puis les mesures agro-environnementales territorialisées, MAET, et enfin les MAEC), on peut affirmer que les principaux éléments structurant les politiques publiques déployées en France ont peu mobilisé l'agronomie comme approche holistique, la cantonnant dans un objectif de modernisation des techniques de production. L'État fait confiance au progrès technique, même pour résoudre les dysfonctions de

plus en plus visibles du mode de production agricole largement adopté par les agriculteurs, qui repose sur le recours systématique aux engrais de synthèse et aux produits phytosanitaires. La réglementation déclinant la directive Nitrates européenne en est un exemple. Il faut attendre 2014 pour que le ministère de l'Agriculture tente de mobiliser et promouvoir un concept global forgé par les agronomes, l'agroécologie, comme nouveau référentiel pour la conduite des productions agricoles susceptible de faire converger les exigences productives et environnementales.

⏩ Les enjeux agricoles et environnementaux de l'azote, objets privilégiés de politiques publiques

Nous avons choisi la gestion de l'azote comme fil conducteur de notre première investigation, car cet élément est au cœur à la fois de l'activité agricole par son importance comme facteur de production quantitatif et qualitatif, et des enjeux environnementaux par son cycle biogéochimique. De multiples questions environnementales sont concernées : qualité des eaux continentales et marines, énergie, changement climatique, qualité de l'air, biodiversité. Aussi, les politiques publiques concernant la gestion de l'azote en agriculture sont aujourd'hui multiples : elles ont accompagné l'émergence de ces enjeux collectifs inscrits successivement à l'agenda politique et constituent autant de politiques sectorielles qui se sont superposées au fil du temps.

La productivité des cultures a été la préoccupation première, de façon explicite dès l'innovation de la synthèse chimique de l'ammoniac (procédé Haber-Bosch en 1913), et encore plus au sortir de la Seconde Guerre mondiale, pour permettre à la France et à l'Europe de parvenir à l'autosuffisance alimentaire en modernisant son agriculture. Les connaissances acquises concernant la nutrition minérale des cultures ont conduit à promouvoir l'usage des engrais azotés en particulier. Le recours aux fertilisants minéraux azotés est considéré aujourd'hui comme incontournable dans le cadre d'une production agricole conventionnelle.

Le souci de la protection de la qualité des eaux est apparu ultérieurement, au cours de la décennie 1970, en relation avec la présence de nitrates détectés d'abord dans les eaux destinées à la consommation humaine, puis dans nombre de ressources en eau. Compte tenu des enjeux sanitaires et économiques de l'eau potable, la teneur en nitrate est encadrée par des normes et des valeurs guides. La dominance de l'origine agricole des nitrates retrouvés dans les ressources en eau a été assez rapidement identifiée, et l'état de contamination des ressources reste préoccupant et stable (Chiffres clés de l'environnement, 2016-2017).

En parallèle, les enjeux énergétiques de l'utilisation des fertilisants azotés sont apparus. Les fertilisants de synthèse sont dérivés de la production industrielle d'ammoniac (NH_3) à partir du diazote de l'air (N_2). Cette synthèse utilise comme autre substrat du méthane (CH_4) issu du gaz naturel, et s'accompagne d'importantes émissions de dioxyde de carbone, à hauteur de 4,24 kg CO_2 par kg d'azote fixé sous forme uréique (Arvalis, 2020). Les fertilisants azotés sont ainsi directement concernés par les questions inscrites plus récemment à l'agenda politique de sobriété énergétique, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de bilan carbone global.

Pour les gaz à effet de serre, l'épandage des fertilisants azotés et organiques s'accompagne également d'une hausse des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) liés aux cultures : en 2017, l'agriculture contribue à 87 % des émissions nationales de N_2O (Citepa, 2019).

La qualité de l'air est elle aussi concernée par la gestion de l'azote par la filière agricole. L'épandage d'engrais azotés de synthèse et de certains produits résiduaires organiques ainsi que le fonctionnement de certains types de bâtiments d'élevage peuvent s'accompagner d'émissions d'ammoniac vers l'atmosphère. L'ammoniac est reconnu comme précurseur de la formation de particules fines dans l'air, qui sont un facteur de dégradation sanitaire majeur de la qualité de l'air. En 2017, l'activité agricole était responsable de 94 % des émissions nationales d'ammoniac (Citepa, 2019). Ces émissions de nitrates et d'ammoniac conduisent, par leurs retombées, à l'eutrophisation de milieux marins, aquatiques et terrestres oligotrophes, altérant ainsi certains aspects de la biodiversité.

Les sollicitations adressées à l'agronomie et aux agronomes en accompagnement de ces politiques publiques sectorielles ont de fait été nombreuses, régulières, et ont mobilisé tous les types de relations entre la communauté des agronomes et les autorités publiques.

1945-1959 : la promotion de l'usage des engrais azotés

Les ingénieurs des services de développement agricole assurent la promotion de l'azote fertilisant auprès des agriculteurs : c'est l'époque de la vulgarisation qui vise la modernisation de l'agriculture. Les conseils de fertilisation concernant l'azote à apporter aux cultures s'appuient sur des courbes de réponse et des modèles empiriques comme celui proposé par le Syndicat professionnel de l'industrie des engrais azotés (SPIEA) (Thévenet, 2000, cité *in* Tamian, 2008). La recherche agronomique oriente parallèlement la sélection génétique du blé, culture phare, vers des variétés qui répondent bien à l'azote, en diminuant le risque de verse : Étoile de Choisy en 1950, Capelle en 1953, Champlein en 1960 (Cornu *et al.*, 2018). Il y a alors convergence entre le projet de l'État, les travaux des agronomes de la vulgarisation et ceux de l'agrofourniture pour soutenir un objectif général d'augmentation de la productivité à l'hectare, accepté par la grande majorité des agriculteurs sans autre préoccupation que de vaincre les ultimes réticences de ces derniers.

1960-1981 : le bilan prévisionnel et la première identification d'une responsabilité environnementale agricole

La méthode du bilan, outil de progrès

Au cours de ces deux décennies, la recherche construit une compréhension de plus en plus aboutie des effets et mécanismes de la nutrition azotée sur l'élaboration du rendement du blé d'hiver. Si la notion de besoin de la plante en azote pour l'élaboration du rendement a été précisée avant 1960 (Coïc, 1956), le sol est introduit comme fournisseur d'azote dans le cadre d'un bilan prévisionnel en vue de calculer la dose d'engrais à apporter (Hébert, 1969). Puis les principaux processus affectant l'azote de l'engrais apporté au sol sont décrits (Rémy et Hébert, 1977). Ce modèle de calcul de la dose d'engrais azoté minéral sera repris et diffusé par les instituts techniques (ITCF, 1978), compte tenu des enjeux directs que la fertilisation azotée représente pour les agriculteurs. Les chocs pétroliers de 1973 et 1979 révèlent en effet la dépendance du prix de ces engrais à celui des hydrocarbures et la menace de leur renchérissement. Il faut donc apprendre à ajuster au mieux les apports pour maximiser le bénéfice économique

tiré de l'utilisation de l'engrais, ce que promet le bilan prévisionnel (chapitre 2). Indirectement, il incitera les agronomes à prendre en compte l'histoire parcellaire de cet azote dans la succession culturale.

Premiers questionnements environnementaux et expertises

Déjà les travaux des années 1970 de ces chercheurs s'accompagnent de constatations concernant l'entraînement des nitrates vers les eaux souterraines à l'automne, derrière les céréales à paille. Les leviers principaux permettant de limiter ces risques de pertes de nitrates, ajustement de la dose d'engrais et couverture automnale des sols, sont même déjà clairement identifiés par leurs auteurs (Rémy et Hébert, 1977).

Cependant, c'est surtout par les pouvoirs publics que la qualité de l'environnement en général et celle de l'eau en particulier s'inscrivent progressivement et durablement dans l'agenda politique national, avant d'intégrer celui des agronomes. La création des agences de l'eau par la loi sur l'eau de 1964, puis du ministère de la Protection de la nature et de l'Environnement en 1971 marque cette prise en charge. Le questionnement sur la qualité de l'eau est alors véritablement porté par ces institutions, et rapidement au-delà des frontières dans le cadre européen. La Commission européenne introduit entre 1975 et 1980 une série de directives relatives aux exigences concernant la qualité des eaux et sa surveillance. L'une d'entre elles fixe et harmonise la teneur en nitrates admissible dans les eaux destinées à la consommation humaine à 50 mg/l au plus.

La présence de nitrates, de phosphore et de produits phytosanitaires qu'on commence à rechercher à grande échelle dans les eaux interpelle. Elle conduit l'État, représenté par les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement et du Cadre de vie, à commander en 1979 au professeur Stéphane Hénin, directeur de recherche honoraire à l'Inra et agronome reconnu, un rapport intitulé « Activités agricoles et qualité des eaux ». Constituée de plus de cent personnes, cette commission interdisciplinaire et multipartenariale réalise une synthèse des connaissances du moment concernant ces trois questionnements, en approfondissant surtout le sujet de l'azote et des nitrates. Elle établit et documente dans un cadre officiel la responsabilité des activités agricoles dans la pollution diffuse des eaux par les nitrates, les phosphates et les pesticides, et appelle à approfondir les recherches. Son travail est novateur, comme le souligne Tamian (2008) : « La démarche consistant à partir du constat d'une pollution et à chercher de quels processus elle découle est inverse de celle additionnant les processus connus les uns aux autres pour déterminer s'il peut y avoir ou non pollution au bout de la chaîne. Il y a donc également évolution dans la conception de la recherche scientifique. »

Même s'il sous-estime les risques de contamination des eaux par des sources agricoles de phosphore et par les phytosanitaires, le rapport Hénin représente un tournant majeur pour la communauté des agronomes par quatre évolutions :
– il constitue une première identification nationale incontestable de la problématique des impacts environnementaux de l'agriculture, au moins en ce qui concerne la qualité de l'eau, portée dans la sphère des décideurs politiques nationaux ;
– il enclenche l'ouverture du monde agronomique, en particulier de la recherche, à des préoccupations sociétales dépassant les seules efficacités productiviste et économique de l'agriculture, ce qui va se traduire progressivement dans la structuration et les programmes des différentes instances scientifiques et techniques ;

– il témoigne d'un apprentissage et de l'intérêt du dialogue interdisciplinaire entre agronomes et spécialistes de l'écologie et de l'hydrologie, qui se prolongera avec la création du Corpen (Comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates, comité interministériel agriculture et environnement) à partir de 1984 ;
– il fait apparaître le lien entre les pratiques locales à l'échelle des parcelles et des exploitations et leurs effets à l'échelle du territoire. C'est une étape majeure dans la prise de conscience de la nécessité d'intégrer les pratiques agricoles dans des échelles plus englobantes que la parcelle et l'assolement de l'exploitation agricole.

Cependant, si le rapport est remis aux commanditaires fin 1980, il ne sera rendu public qu'en 1985 tant la remise en cause qu'il ouvre est forte, et les évolutions décrites ci-dessus ne se déploieront que très progressivement aux échelles plus locales !

1982-1992 : les pouvoirs publics définissent une gestion agronomique de l'azote

La question des nitrates sur la place publique

En 1982, débats et réflexions sur l'opportunité d'une politique publique concernant l'agriculture et la qualité des eaux restent cantonnés dans un cercle restreint, même si, dans les territoires, les agences de l'eau prennent très rapidement le relais du rapport Hénin pour porter le message, avec des constats et des expertises régionales propres. Par exemple, en Alsace, les premières discussions avec les instances professionnelles agricoles au sujet de la responsabilité de l'agriculture dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe phréatique interviennent dès 1980 (témoignage de l'auteur).

En 1984, deux événements portent l'interpellation posée à une échelle plus large :
– le Corpen est créé. Il réunit organisations et instituts techniques professionnels, organisations d'usagers, établissements publics de recherche, agences financières de bassins, ministères concernés et quatre personnalités « choisies en raison de leurs compétences ». Sa mission est de connaître les programmes d'actions et de recherche engagés, et de faire toutes suggestions aux ministères à leur sujet (Décision interministérielle du 20 juin 1984 portant création d'un comité eau-nitrates). Il sera renommé en 1992 Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement, en intégrant la problématique des produits phytosanitaires. L'expertise agronomique qui a éclairé les pouvoirs publics sur les causes de la situation est ainsi convoquée pour trouver des réponses ;
– un colloque national, *La pollution par les nitrates, quels responsables ? Causes et prévention*, se tient à Dijon en octobre 1984 et élargit le cercle du questionnement avec une intervention directe de la ministre de l'Environnement, Huguette Bouchardeau.

L'interpellation publique sera à son paroxysme en février 1990, suite à une déclaration du secrétaire d'État en charge de l'Environnement, Brice Lalonde, qui, lors d'une conférence de presse, reproche aux agriculteurs d'être le « point noir » en matière de pollution des eaux par les nitrates. Le questionnement sur la relation entre agriculture et qualité des eaux entre alors frontalement dans le débat public.

Si, du point de vue des politiques publiques nationales, cette période se conclut par le premier Plan national pour l'environnement établi en 1990, signe d'une volonté publique forte et lisible de prise en charge de cette problématique (Lacroix et Zaccaï,

2010), pour l'azote et les nitrates d'origine agricole c'est au niveau européen que les orientations les plus décisives seront arrêtées. L'approbation au niveau européen de la Directive n° 91/676/CEE du 12/12/91 concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles, dite « directive Nitrates », marque le coup d'envoi d'une politique d'ordre réglementaire qui sera progressivement mise en œuvre tout au long de la période suivante, à partir de 1993.

La directive Nitrates européenne mobilise fortement l'agronomie

Il apparaît remarquable que cette directive reprenne des éléments d'agronomie issus de la connaissance des processus qui gouvernent les émissions de nitrates vers les eaux, et que ses exigences soient structurées autour des principaux mécanismes de transfert à contrôler. Elle demande par exemple « la limitation de l'épandage des fertilisants [...] fondée sur un équilibre entre les besoins prévisibles en azote des cultures et l'azote apporté aux cultures par le sol et les fertilisants ». Sa transposition nationale doit donc permettre de respecter le principe d'équilibre de la fertilisation azotée, d'identifier les périodes inappropriées pour l'épandage des fertilisants, et peut proposer le maintien d'une couverture végétale. Des agronomes ont donc été entendus dans l'élaboration de ce texte, et la connaissance des leviers d'action est en arrière-plan de ces choix réglementaires.

En visant un ajustement de la dose d'azote cherchant à minimiser les reliquats d'azote minéral post-récolte dans le sol, la méthode du bilan prévisionnel et le modèle cognitif qui la soutient sont en totale adéquation avec les exigences posées par la directive. Dès lors, la méthode sera constamment précisée, puis étendue aux autres cultures que le blé. Le Comifer, structure associative réunissant des agronomes de la recherche, des organismes publics de conseil et de l'industrie des fertilisants, créé en 1980, devient le lieu permanent d'échanges autour des travaux la concernant. En parallèle, l'Inra entreprend de formaliser les multiples équations constitutives de ce modèle dans un outil d'aide à la décision informatisé pour les grandes cultures, Azobil (1990) puis Azofert (2007). Leur usage se diffuse dans certains territoires par un réseau de laboratoires d'analyses de terre en relation avec les prescripteurs locaux.

En parallèle, les chercheurs confirment les risques de pertes de nitrates et explorent l'efficacité des leviers. On peut citer par exemple les travaux de l'Inra conduits à Châlons-sur-Marne et à Colmar dans les années 1980 sur cases lysimétriques, concernant les systèmes de culture et les performances des cultures intermédiaires pièges à nitrates (Ballif, 1995 ; Chapot *et al.*, 1996).

Ainsi, les agronomes défrichent un nouvel aspect des relations climat-sol-plante, en accompagnement du questionnement des pouvoirs publics vis-à-vis des actions à conduire pour réduire les impacts environnementaux de la production agricole, en ajoutant le compartiment « eau lixiviante » vers les aquifères. Le Corpen constitue le lieu emblématique de la reconnaissance de leur expertise au travers de ses nombreux rapports techniques. En retour, cette situation favorise de nouveaux travaux destinés à renforcer cette expertise par une compréhension des phénomènes et des propositions d'actions qui dépassent le simple cadre de l'ajustement de la fertilisation azotée. Cette situation se prolongera et s'amplifiera au cours de la période suivante (1993-2002), durant laquelle sera expérimentée la mise en œuvre locale des méthodes et recommandations élaborées dans ce cadre.

1993-2002 : l'action publique, entre mode réglementaire et engagement collectif volontaire

Cette période est marquée par la mise en œuvre effective de politiques publiques fortes relatives à la dimension environnementale de l'utilisation de l'azote en agriculture dans les territoires par deux voies bien différentes :

– d'une part, l'administration transpose les exigences de la directive européenne sur les nitrates de 1991 pour aboutir aux premiers programmes d'action structurés par département en 1997. Les agronomes en région sont à cette occasion sollicités ponctuellement par l'administration pour apporter des avis et fournir des références qui seront intégrées dans la rédaction des premiers arrêtés préfectoraux d'application de la directive Nitrates ;

– d'autre part, dans la continuité des travaux du Corpen, une proposition est émise en 1992 de construire des actions volontaires et collectives de prise en charge de la problématique nitrate par la profession elle-même, sur des territoires à enjeu « eau » bien identifiés : ce sont les opérations Ferti-Mieux, qui engageront, à la fin des années 1990, 54 territoires de France métropolitaine (chapitre 8). Ce dispositif constituera un lieu d'apprentissage pour de nombreux agronomes des nouvelles dimensions territoriale, environnementale et sociologique de leur métier, et un laboratoire pour la création de nouveaux outils et compétences : mise au point de nombreux indicateurs agro-environnementaux indispensables aux fonctions de diagnostic des risques et de suivi des actions, élaboration de référentiels agronomiques dédiés, conception de plans de communication et d'animation sur un sujet polémique.

Sur le front de la recherche, on assiste au développement d'indicateurs et de modèles destinés à instruire les diagnostics requis pour l'action à l'échelle des exploitations agricoles et des territoires. Mais l'entrée principale des agronomes reste l'échelle du système de culture, pertinente pour analyser les risques, puisqu'elle concerne la succession des cultures et des intercultures dont on a compris l'importance dans les processus de pertes de nitrates : indicateurs Balance et Bascule (Benoît, 1992), I-N de la méthode Indigo (Girardin et Bockstaller, 1997), Merlin (Aimon-Marie *et al.*, 2001). Par le champ d'application ouvert par les opérations Ferti-Mieux, les travaux sur les indicateurs sont conduits dans une perspective concrète d'application qui stimule leur développement, tandis que le Corpen leur confère une visibilité.

La recherche s'engage aussi dans des tentatives de modélisation du complexe eau-sol-plante-climat, avec une prise en compte explicite des cycles couplés du carbone et de l'azote et du transfert des nitrates dans le sol. Ce seront par exemple les débuts des travaux sur le modèle Stics à l'Inra à partir de 1996.

Bien sûr, les travaux de consolidation de la méthode du bilan sont poursuivis et aboutissent à la publication en 1996 par le Comifer d'un premier guide de calcul de la fertilisation azotée des cultures annuelles (GT azote du Comifer, 1996).

Ainsi, stimulés par une attente des pouvoirs publics, représentée au niveau national par le Corpen et dans les départements par les autorités préfectorales en charge du déploiement de la directive Nitrates, les agronomes de la recherche-développement imaginent de concert de nombreux outils de diagnostic ou de suivi du risque et inventent une voie originale de mobilisation du monde agricole pour la prise en charge par ce dernier de la limitation des risques à l'échelle de territoires locaux, les actions

Ferti-Mieux. Celles-ci seront aussi le creuset de l'élaboration de nombreuses références agronomiques locales et d'un questionnement renouvelé à la recherche. Mais, malgré ses succès, cette méthode, fortement mobilisatrice et déployée en parallèle de la transposition de la directive Nitrates, verra son acceptation décliner au fur et à mesure que les discussions et négociations locales autour des obligations réglementaires occuperont les acteurs de terrain. Après une décennie d'expérimentation, l'Association nationale pour le développement agricole (ANDA), structure nationale qui assurait l'accompagnement et organisait la labellisation de ces opérations, est dissoute en 2002 pour des motifs extérieurs à cette mission (Les aides au développement agricole, 2007), et les opérations Ferti-Mieux s'arrêtent. Seule l'Agence de l'eau Rhin-Meuse continuera de soutenir jusqu'à aujourd'hui un réseau d'opérations locales semblables baptisées « Agri-Mieux » et répondant à un cahier des charges régulièrement actualisé.

2003-2020 : difficultés de l'action par la réglementation et nouveaux enjeux

L'âge d'or de la méthode du bilan

Au fil des années, on a assisté au passage d'une pratique empirique qui convenait aux priorités du lendemain de la Seconde Guerre mondiale, augmenter les rendements sans préoccupation d'éventuels effets indésirables pour l'environnement, à un projet de pratique agronomique fondée sur une connaissance détaillée de processus modélisables, qui fait consensus dans ses principes : la méthode du bilan prévisionnel. Ce projet est d'autant mieux reçu par les pouvoirs publics que la proposition reprend explicitement l'objectif d'équilibre entre besoins des cultures et fournitures par le sol et les fertilisants, qui est au centre de son propre modèle d'action pour la protection des eaux vis-à-vis des nitrates. Il intègre également la possibilité d'évaluer l'ensemble des émissions d'azote vers l'eau et l'air qu'on cherche à contrôler. Il constitue ainsi depuis la fin des années 1970 le modèle partagé par tous, supporté par les pouvoirs publics et qui concentre tous les efforts pour son développement et son déploiement.

Cette situation aboutit à une institutionnalisation : la méthode du bilan prévisionnel est reconnue comme méthode de référence dans le cadre de la déclinaison en France de la directive Nitrates, et le Comifer est l'instance officielle de son élaboration. Après l'ouvrage de 1996 *Calcul de la fertilisation azotée des cultures annuelles*, le Comifer publie ainsi deux versions successives en 2011 et 2013 d'un *Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales de la fertilisation azotée*, qui établit l'état du consensus concernant les processus à prendre en compte, les formulations opérationnelles de la méthode du bilan prévisionnel de calcul de la dose d'azote et leur paramétrage, qui peut mobiliser des références locales (GT azote du Comifer, 2013).

Les outils proposés aux agriculteurs pour le calcul d'une dose d'azote sont très nombreux. En 2015, les pouvoirs publics envisagent un dispositif de validation officielle de ces outils, fondé sur la comparaison des conseils formulés avec ceux obtenus en utilisant la méthode exposée dans le guide. Ils y renoncent cependant et laissent alors le soin au Comifer de proposer aux outils candidats un label de conformité à la méthode désormais baptisée « méthode Comifer ». Cet épisode souligne la difficulté de l'établissement de normes pertinentes jusqu'à une échelle parcellaire et du contrôle de leur mise en œuvre.

La modélisation des processus portée par le projet Stics progresse également et conduit à la mise en chantier en 2012 d'un simulateur accessible des émissions d'azote des systèmes de culture, très attendu de tous les agronomes de terrain en charge de l'animation sur des territoires, l'outil Syst'N (Parnaudeau *et al.*, 2012). Il simule les émissions d'azote vers les eaux (NO_3^-) et vers l'atmosphère (NH_3, N_2O), permettant ainsi de répondre aux nouvelles problématiques des gaz à effet de serre et de la qualité de l'air.

L'appel à l'expertise agronomique étendu et régionalisé

Avec l'arrêt du dispositif Ferti-Mieux en 2002, ce sont les programmes d'action départementaux définis en application de la directive Nitrates qui deviennent le référentiel quasi unique de la lutte contre les fuites de nitrates d'origine agricole vers les eaux, combinant les déclinaisons locales de la méthode du bilan prévisionnel et des exigences âprement négociées de couverture automnale et hivernale des sols.

Les agronomes en région continuent comme précédemment d'être sollicités par l'administration, et cette fonction est institutionnalisée à partir de 2011 avec la constitution des Groupes régionaux d'expertise nitrates (GREN), dont la composition est fixée par arrêté préfectoral. Ils ont pour mission de contribuer au paramétrage de la méthode du bilan pour les situations locales et d'en choisir les modes de calcul par culture. Mais les agronomes seront également fréquemment sollicités tantôt par des organisations professionnelles pour construire des argumentaires agronomiques destinés à étayer des demandes locales de dérogation aux règles nationales, tantôt par l'administration pour analyser ces demandes. La mise en place des GREN constitue alors une sécurisation de la fonction d'expertise requise par l'administration (au sein de laquelle les agronomes expérimentés sont devenus peu nombreux), tout en sélectionnant les compétences et en limitant le nombre d'experts participant aux débats. Cette sollicitation institutionnelle constitue l'échelon décentralisé de la mobilisation qui s'est établie sous différentes formes au niveau national depuis la commande du rapport Hénin en 1979 (encadré 9.1).

Encadré 9.1. Du rapport Hénin au groupe de concertation Genem, la mobilisation de l'expertise agronomique par les pouvoirs publics

Depuis le rapport Hénin remis en 1980 jusqu'à la création du groupe de concertation Gestion des éléments nutritifs et des émissions vers les milieux (Genem) en 2018, l'élaboration d'une politique de prévention des impacts de l'utilisation agricole de l'azote a mobilisé une expertise agronomique constante, mais d'intensité et de structuration variant au fil des années.

Le travail de Stéphane Hénin avec sa commission multipartenariale est une expertise que l'on qualifierait aujourd'hui de participative. Le Corpen, qui prend le relais de ce travail en 1984, consolide cette posture au service des politiques publiques agricoles et environnementales. Après 24 années de fonctionnement, le rapport de l'administration qui examine l'avenir de cette structure (IGE-CGAAER, 2008) considère que « le Corpen se situe à la charnière entre les activités de recherche et l'élaboration des réglementations nécessaires, à la fois pour éclairer les décisions politiques et comme un centre de transfert des connaissances ».

Encadré 9.1. Du rapport Hénin au groupe de concertation Genem, la mobilisation de l'expertise agronomique par les pouvoirs publics (suite)

De fait, le Corpen aura produit de nombreux rapports établis de façon consensuelle traitant de l'état des connaissances et des recommandations techniques associées, des méthodes de diagnostic, des références techniques disponibles. Il dispose même sur la période 1984-1990 de moyens budgétaires lui permettant de soutenir des expérimentations locales de développement pour tester des méthodes de sensibilisation des acteurs agricoles *via* deux « zones pilotes d'information azote » déployées par l'Association pour la relance agronomique en Alsace de 1988 à 1990, expérimentation conduite sur la base des propositions établies par Philippe Lafleuriel pour le Corpen. Un rapport sera établi à la suite de ces tests, le « Cahier des charges des opérations de conseil aux agriculteurs en vue de protéger l'eau contre la pollution nitratée » (Mission eau-nitrates, 1992), qui servira de base au cahier des charges des opérations de conseil collectif Ferti-Mieux lancées en 1992.

L'existence même du Corpen, en marquant une préoccupation officielle des autorités publiques sur cette question et en validant le principe d'une expertise continue confiée aux parties prenantes, donne un signal clair aux équipes de recherche en agronomie qui se préoccupent d'environnement dans leurs travaux.

Cependant, le même rapport souligne que si « les productions du Corpen sont reconnues [...], particulièrement dans le domaine des pollutions diffuses occasionnées par les effluents d'élevage, et qu'il constitue toujours un potentiel de réflexion et de débat sur des sujets relatifs aux pratiques agricoles respectueuses de l'environnement », il sera supprimé en 2009 sous un prétexte administratif, l'irrégularité de constitution d'une instance consultative œuvrant en marge de ses administrations de tutelle...

C'est à cette période qu'apparaissent les premières expertises scientifiques collectives (ESCo), produites par l'Inra en association avec d'autres organismes scientifiques en réponse à une question explicitement posée par les ministères en lien avec une problématique de politique publique. La première de ces ESCo est rendue en 2005 (Aubertot *et al.*, 2005) et elles se succèdent depuis. Cette sollicitation des milieux scientifiques marque le besoin continu des pouvoirs publics de disposer d'une expertise explicite en amont de la décision publique, en assurant son indépendance à la question traitée vis-à-vis des parties prenantes. Cette période correspond aussi à celle d'une démarche réflexive des milieux scientifiques sur la définition même d'expertise et la posture de l'expert (Roqueplo, 1997 ; charte Inra sur l'ESCo, 2007).

Plus récemment, en 2018, les deux ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement ont mis en place d'une part le Genem, composé des parties prenantes de la lutte contre la pollution par les nitrates (administration, organisations professionnelles agricoles, associations environnementales, instituts techniques et établissements de recherche, soit semblable à la composition du Corpen), et d'autre part un comité scientifique et technique (CST) en appui à la fois du groupe de concertation et de l'administration. La création de ces instances souligne qu'au-delà de l'expertise scientifique ponctuelle de type ESCo ou d'études, les pouvoirs publics ont besoin d'un appui permanent à la conception d'actions. Les missions de ces deux instances sont toutefois très cadrées :

– « le groupe de concertation a pour mission de suivre l'avancement des travaux relatifs à l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation du cadre technique et réglementaire en application de la directive Nitrates [...] ;

– le CST a pour objectif d'éclairer l'administration et le groupe de concertation en émettant avis et recommandations reposant sur des considérations scientifiques et techniques, et basés sur une vision prospective et transversale des travaux scientifiques et techniques dans les domaines couverts en priorité par la politique publique "nitrates" [...]. »

Il est souligné que « la production des référentiels techniques et outils reste assurée, selon les cas, par les instituts techniques, le Comité d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée (Comifer), les établissements de recherche ou encore les bureaux d'études ».

Ainsi, on assiste à une structuration de l'appel à l'expertise qui s'accorde avec les besoins spécifiques de chacune des phases du cycle d'une politique publique, avec la mobilisation d'instances propres à chacune : l'expertise scientifique collective commandée pour éclaircir les enjeux et l'état de l'art après la mise à l'agenda, le groupe de concertation pour le plan d'action, appuyé par un comité scientifique indépendant et mobilisé par des questions précises, des opérateurs techniques mandatés pour la production des référentiels et outils nécessaires à la mise en œuvre, des groupes d'experts locaux pour affiner leur mise en œuvre locale. Le bon fonctionnement de cet ensemble pose la question du partage d'une connaissance scientifique commune et du consensus autour de celle-ci.

Les limites opérationnelles de la méthode du bilan et la réponse de l'innovation agronomique

En dépit de la légitimation de la méthode du bilan et de ses variantes par l'administration, sa diffusion reste imparfaite. L'analyse des controverses apparues dans les GREN lors du processus de définition régionale des paramètres d'application de la méthode (choix de l'objectif de rendement, fiabilité de la mesure du reliquat en entrée de bilan, tension entre l'homogénéisation requise dans un cadre national et adaptation aux spécificités de chaque situation agricole) indique que le consensus autour de cette méthode masque des divergences autour de sa mise en œuvre, divergences qui pourraient contribuer à des erreurs dans les doses apportées. Les incertitudes de paramétrage sont par ailleurs autant d'arguments de défiance de la part des acteurs de terrain dont les pratiques sont remises en cause (Ravier *et al.*, 2015). Ce constat a été le point de départ de la conception d'un nouvel outil d'aide à la décision pour le calcul de la dose d'azote permettant de s'affranchir de ces divergences et d'intégrer la capacité des acteurs à utiliser un tel outil, bousculant le consensus et plaidant pour un renouveau de l'innovation dans le traitement de cette question (Ravier, 2017 ; Jeuffroy *et al.*, 2020). C'est en repartant de travaux poursuivis sur la nutrition azotée du blé que les acteurs de la recherche ont proposé cette alternative fondée sur l'évaluation du niveau de nutrition azoté de la culture, et non plus sur la modélisation de l'offre du sol. La nouvelle approche, baptisée « Appi'N », apporte une réponse à la question permanente de l'estimation de la quantité de fertilisant azoté à apporter à une culture, en évitant des surfertilisations que l'application de la méthode du bilan n'empêche pas toujours. Cependant, son intégration comme outil pour l'action dans le cadre de la réglementation visant à minimiser les fuites d'azote n'est pas acquise, car se pose la question de son insertion dans une procédure de contrôle par l'administration.

La montée en puissance de l’approche territoriale

Au cours des deux décennies, les agronomes de la recherche ont dépassé le cadre du système de culture pour investir le champ de l’analyse et du diagnostic territorial sur de grands bassins-versants. Ils mobilisent pour cela des modélisations spatiales, en partenariat avec des hydrologues et en relation directe avec des acteurs publics régionaux qui s’interrogent sur les causes structurelles des pertes de nitrates et les évolutions à attendre de l’application des programmes d’action réglementaires. Ce sont les travaux du Piren sur le bassin-versant de la Seine en relation avec l’Agence de l’eau Seine-Normandie à partir de 1998 (Baudoin *et al.*, 2010) ou les projets transfrontaliers MoNit (2006) puis Logar (2012) sur la vallée du Rhin supérieur, à la demande de la région Alsace à partir de 2003. En effet, les connaissances nécessaires pour un tel exercice sont réunies : modèles du cycle de l’azote dans le sol et les cultures, outils SIG puissants, bases de données spatialisées de l’occupation des terres, du climat et des sols, connaissance structurée des pratiques agricoles, etc. Cependant, malgré la qualité de ces travaux, les prospectives qu’elles autorisent sur le devenir de la qualité des eaux à grande échelle *via* des scénarios exploratoires semblent peu valorisées dans l’élaboration des politiques publiques, pour deux raisons. D’une part, le cadre réglementaire national d’application de la directive Nitrates « confisque » le débat entre les parties prenantes dans les territoires, et ne sollicite pas d’éventuelles prospectives de long terme et transversales concernant l’évolution envisageable de l’agriculture des territoires concernés. D’autre part, les parties prenantes elles-mêmes sont peu associées aux travaux de modélisation conduits dans un cadre plutôt académique et se refusent à solliciter de tels exercices, d’autant que les marges de manœuvre pour une action publique locale novatrice et ambitieuse qui pourrait en découler sont limitées par le droit européen relatif aux dispositifs d’aides à la production.

Dans le même temps, le champ des enjeux pris en compte par les politiques publiques concernant l’azote déborde maintenant la seule question de la qualité de l’eau et s’étend progressivement, d’une part à la qualité de l’air à travers la problématique des émissions d’ammoniac, d’autre part à la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre *via* les émissions directes et indirectes que représentent la consommation d’engrais azotés de synthèse ou le non-recyclage des matières fertilisantes d’origine résiduaire. Il faut ajouter à cela l’orientation de soutien à la production d’énergie à partir de la biomasse, en particulier par la voie de la méthanisation (plan Énergie méthanisation autonomie azote, EMAA, 2013), avec comme corollaire une évolution possible des systèmes de culture destinés à alimenter les digesteurs et la production de digestats riches en ammoniac. Ces questions sont autant de degrés de complexité supplémentaires introduits dans la recherche de solutions d’économie de l’azote tant à l’échelle des systèmes de culture que des territoires.

Vers des démarches territoriales et participatives

Depuis les années 2010, on assiste à un virage dans la mise en œuvre des politiques publiques portées par les ministères, mais dont le déploiement est maintenant souvent confié à des agences d’État (ici agences de l’eau, Ademe, Agence française pour la biodiversité) : au-delà d’un cadre réglementaire général, plutôt que d’assumer un portage direct par les administrations déconcentrées qui montre ses limites, les politiques publiques s’orientent vers une mobilisation des territoires locaux, en

confiant l'élaboration et la conduite de plans d'action souvent obligatoires à des collectivités territoriales, de la région aux communautés de communes. On peut citer la gestion des aires d'alimentation de captage d'eau potable, les Plans climat-air-énergie territoriaux (PCAET) ou les Plans alimentaires territoriaux (PAT).

Ainsi, à l'échelle de territoires plus locaux (captages dégradés prioritaires, opérations Agri-Mieux précitées), et avec la superposition d'autres enjeux tels que les conséquences du changement climatique sur l'agriculture, la nécessité de gagner en valeur ajoutée des productions ou encore les interrogations sur les évolutions des systèmes de culture qui accompagnent le développement des méthaniseurs, la recherche de solutions se dynamise avec une implication attendue des agriculteurs et des filières.

Dans le même temps, les agronomes de la recherche comme du développement ont compris et tentent de démontrer que la seule amélioration de l'efficience des techniques ne permettra pas d'affronter ces enjeux et qu'il faut accepter d'explorer des stratégies de rupture. Ils abordent cette recherche de solutions par la coconception de systèmes de culture innovants, impliquant pour eux-mêmes un changement de posture vis-à-vis de l'agriculteur, dont ils deviennent les accompagnateurs et non plus les conseillers experts omniscients ou sachants. Ces évolutions sont facilitées par les réseaux d'échanges nationaux thématiques de type RMT (réseaux mixtes technologiques), soutenus par le ministère de l'Agriculture et qui développent eux-mêmes une forme de relation renouvelée entre chercheurs et acteurs directs du développement. Les questionnements concernant la gestion de l'azote sont par exemple pris en charge depuis 2007 par les RMT Systèmes de culture innovants (devenu « Champs et territoires ateliers » en 2020) et Fertilisation et environnement (devenu « Bouclage » en 2020). Ils constituent des lieux vivants d'interrogations, de partages d'expériences, de définitions de nouveaux concepts et de tentatives de constructions d'outils mobilisables pour soutenir des plans d'actions locaux en acceptant et en assumant la complexité de la construction des solutions avec les acteurs concernés.

S'opère ainsi une convergence entre les orientations des politiques publiques qui privilégient les territoires locaux comme lieu de mise en œuvre de plans d'actions mobilisateurs, et les capacités des agronomes à rendre compte et modéliser l'agriculture de ces territoires et à s'impliquer dans une innovation participative auprès des acteurs. Les collectivités territoriales, qui dans ce cadre découvrent leurs nouvelles responsabilités et la complexité des questions à traiter, sont en attente de prospective et de propositions concrètes et se font accompagner dans leur démarche par des bureaux d'études publics ou privés. C'est une opportunité pour les agronomes d'être contributeurs actifs : au-delà de l'expertise, une nouvelle forme de participation des agronomes au déploiement de politiques publiques peut s'y déployer.

Demain : pour une approche intégrée des flux d'azote dans des systèmes territoriaux et globaux

Un bon exemple des difficultés posées aujourd'hui aux agronomes par la gestion de l'azote dans le cadre de l'application de la directive Nitrates est illustré par un avis récent du CST Genem concernant « l'actualisation des connaissances permettant d'objectiver les périodes recommandées pour l'épandage des fertilisants azotés en prenant en compte à la fois les fuites de nitrates et les émissions de polluants atmosphériques »

(CST Genem, 2019) : « Le CST-Genem recommande de poursuivre l'étude [étude réalisée par ACTA et Artelia, 2012] en développant une approche intégrée de l'ensemble des processus dans les différents milieux (sols, eaux, air, plantes). Une évaluation des impacts des pratiques d'épandage sur l'ensemble des milieux (qualité des eaux, des sols et de l'air) permettrait de considérer simultanément les réglementations établies pour chacun des milieux, afin d'évaluer les synergies et les antagonismes entre les flux azotés dans et entre les différents milieux, donc non seulement la minéralisation et la lixiviation du NO_3^-, mais aussi les concentrations et les émissions de NH_3 et de N_2O dans l'air. L'étude n'a pas permis de rassembler et/ou d'analyser un corpus suffisant de références scientifiques et techniques existantes ni, par conséquent, de fournir l'ensemble des critères opérationnels nécessaires pour la définition des périodes conseillées et déconseillées d'épandage des fertilisants selon tous les contextes pédoclimatiques français, tous les types de cultures et tous les types de fertilisants azotés ; elle n'a pas non plus permis de définir des compromis à effectuer entre la qualité des eaux, la qualité des sols et la qualité de l'air. »

Cet avis renvoie à la difficulté d'établir une norme unique pertinente pour une très grande diversité de situations (ici un calendrier d'interdiction d'épandages). La mise en œuvre d'outils de conseils validés permettant la prise en compte de la diversité parcellaire est une piste alternative, mais la difficulté de cette approche est réelle, comme le souligne le renoncement récent à une validation par l'administration des outils de conseil de calcul de dose d'azote : il faut non seulement s'assurer de la justesse de l'outil dans toutes les situations, mais aussi être capable de contrôler l'effectivité et l'exactitude de sa mise en œuvre.

La gestion de l'azote est au cœur d'une tension forte générée par des objectifs contradictoires : productivité, qualité des productions, préservation des milieux naturels et des services associés. Compte tenu de l'état des connaissances déjà bien avancé concernant les processus évoqués et la diversité des situations locales en matière de milieux, faut-il conduire des travaux de recherche ou bien plutôt développer une ingénierie agro-environnementale qui puisse intégrer l'ensemble des processus et des enjeux, en proposer une modélisation opérationnelle aux échelles des différents territoires, une lisibilité permettant sa reconnaissance comme élément de politique publique, un savoir-faire d'animation spécifique facilitant le jeu des acteurs des territoires et une mobilisation active et éclairée des agriculteurs, dans la continuité ou en une sorte de prolongation augmentée de l'expérience Ferti-Mieux ?

⏩ Les sols et leurs aménagements

Les politiques publiques relatives aux sols concernent différents enjeux. Nous en avons retenu deux pour lesquels de nombreux actes de politique publique sont avérés :
– la fertilité des sols et l'accroissement des potentialités de production : cette question est portée par des politiques publiques de soutien à l'aménagement foncier qui promeuvent le drainage, l'irrigation, le remembrement, la reconquête de terrains en friche et, plus récemment, une promotion de la gestion agronomique des sols ;
– la préservation des surfaces agricoles : l'enjeu est de protéger ces surfaces vis-à-vis de leur consommation par les travaux d'aménagements divers, l'urbanisation ou le boisement, qui diminuent la capacité de production nationale et fragilisent certaines exploitations agricoles.

On se doit d'y ajouter une autre question qui intéresse particulièrement les agronomes, la connaissance des sols de France au sens de la caractérisation de leurs propriétés agronomiques, pour laquelle les éléments de politique publique sont *a priori* moins lisibles. Cette histoire est à mettre en parallèle de celle des politiques d'aménagement, puisque celles-ci vont directement concerner les sols et leur exploitation et potentiellement s'appuyer sur cette connaissance.

1945- 1959 : l'État investit dans l'aménagement de quelques territoires

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, la sécurité d'approvisionnement est une priorité et elle doit être résolue par la modernisation de l'agriculture. Dans cette vision, les politiques publiques s'intéressent aux terres agricoles comme surfaces productives, et au sol comme outil de production susceptible d'améliorations. L'État engage alors des programmes visant d'une part l'aménagement et l'amélioration foncière, d'autre part la reconquête de surfaces cultivées, tandis qu'il assure en parallèle la vulgarisation de la mécanisation et de la fertilisation, compléments indispensables pour la valorisation de ces améliorations. Une partie de cette action se lit dans la création de compagnies régionales d'aménagement.

Dans le sud de la France, la maîtrise de l'eau pour le développement rural

Dès la Libération, l'État prend des initiatives sur des territoires particuliers : création d'une Commission du Bas-Rhône pour l'aménagement et l'irrigation de la Camargue (1946), d'une Institution interdépartementale pour l'irrigation des coteaux de Gascogne (1947). Ces institutions préfigurent la création dans les années 1950 des grandes compagnies d'aménagement, qui reçoivent mission de maîtrise de l'eau et de développement rural dans des régions où l'irrigation paraît indispensable à la modernisation de l'agriculture. Elle requiert la modernisation ou la création d'ouvrages hydrauliques importants, prises d'eau, canaux et barrages réservoirs. Ce sont la Compagnie nationale d'aménagement de la région du Bas-Rhône et du Languedoc (CNABRL) en 1955, la Société du canal de Provence (SCP) en 1957, la Société de mise en valeur agricole de la Corse (Somivac) en 1957, la Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne (CACG) en 1959. Elles reprennent la gestion de grands ouvrages hydrauliques créés au XIXe siècle et les complètent : canaux de la Neste, de Marseille, du Verdon, création des canaux Jean Lamour et des Costières, création de barrages (tels Orb ou Salagou) et de réservoirs. Les surfaces irriguées au moyen de ces ouvrages dépassent les 200 000 hectares et les ouvrages hydrauliques assurent également l'approvisionnement en eau de grandes agglomérations : Toulon, Marseille, Nîmes, Montpellier et les stations balnéaires de la côte languedocienne. Du fait des enjeux multiples, ces compagnies d'aménagement continueront leur activité après que les régions ont pris la place de l'État à partir de 2008 dans le cadre de la décentralisation.

Dans l'est de la France, la lutte contre la déprise

La question de l'abandon des terres se pose : après la Seconde Guerre mondiale, 5,5 millions d'hectares de terres sont considérés comme délaissés. Rien qu'en

Lorraine, 136 000 hectares ne sont plus cultivés. En Haute-Marne, après un diagnostic commandé dès 1951 par Edgard Pisani, alors préfet du département (et futur ministre de l'Agriculture de 1961 à 1966), période qu'il évoque dans son ouvrage *Un vieil homme et la terre* (Pisani, 2004), on recense 35 000 hectares de friches. Dans la logique de planification par l'État, la question des friches est inscrite dans le 3e plan national de modernisation (1958). La Société d'aménagement des friches de l'Est (SAFE) est ainsi créée en 1958 pour remédier « à la désertification des campagnes, au sous-développement de l'agriculture et à l'expansion des friches » dans 12 départements de l'est de la France. Sa mission, après un inventaire cartographique réalisé sur 13 départements (les sols inutilisés y sont évalués à 500 000 hectares), est de réaliser des opérations d'aménagement et de mise en valeur agricole et forestière des terres en friches. L'activité de la SAFE est intense à ses débuts, et elle acquiert le statut de Société d'aménagement foncier et d'établissement rural (Safer) en 1965 pour deux départements. Mais les projets sont coûteux et, sans financement de l'État, l'activité d'aménagement assurée en bureau d'études prestataire s'arrête en 1988 (Peltre, 1992).

Des remembrements peu nombreux

Si le remembrement des terres agricoles a été introduit comme outil d'utilité publique à la fin de la Première Guerre mondiale (lois Chauveau de 1918 et 1919 se concrétisant par 685 communes remembrées), puis confirmé par une loi de 1941 reprise à la Libération, les mises en œuvre sont lentes : 100 communes seulement sont remembrées entre 1941 et 1951. En 1954, au vu des difficultés rencontrées, un décret est promulgué en vue d'accélérer l'aménagement foncier agricole et le remembrement, introduisant la possibilité de « travaux connexes de nature à améliorer de façon rationnelle la productivité » concernant les chemins et l'hydraulique. C'est à partir de 1956, avec un fort accompagnement financier de l'État qui prend à sa charge 80 % du coût des opérations, que le rythme des opérations s'accélérera, principalement dans la moitié nord de la France.

L'État parfois dépassé par la modernisation de l'agriculture

À l'inverse, également dans la région Est mais sur d'autres territoires, cette période est celle des grands défrichements opérés au détriment des forêts de pins peu productives installées à la fin du XVIIIe siècle et pendant le XIXe siècle sur les terres pauvres de la Champagne crayeuse. À partir de 1945 et plus intensément de 1950 jusqu'à la fin des années 1970, 115 000 hectares de forêts privées y sont défrichés et mis en culture de céréales, betterave et luzerne sur les départements des Ardennes, de l'Aube et de la Marne. C'est le bénéfice conjoint de la mécanisation, qui facilite le défrichement lui-même, du remembrement, de la maîtrise de la fertilisation phosphatée, facteur agronomique limitant majeur des sols de craie, et du soutien des prix à ces cultures. Mais ce défrichement n'est pas le résultat d'une politique publique : il est au contraire subi par l'administration du ministère de l'Agriculture, qui ne peut le réguler faute de moyens humains et d'outil législatif. Elle s'inquiète même des risques de dérèglement climatique locaux et d'atteintes à la biodiversité exposée aux déboisements massifs (Chevalier, 1972).

Dans le Sud-Ouest, avec les possibilités de développement de la culture du maïs dans les années 1960 résultant des progrès de la sélection variétale pour cette espèce, le massif forestier des Landes est menacé à son tour par ces défrichements, et avec lui les intérêts des sylviculteurs et de l'industrie locale du bois. Ainsi, à partir de 1970,

les déboisements seront soumis à autorisation et taxés (loi de finance rectificative du 24 décembre 1969) (Charbonneau, 1977). En complément, pour la Champagne, des objectifs régionaux et opposables de conservation des surfaces boisées seront adoptés en 1971 pour les trois départements concernés, au motif de la prévention de l'érosion et du maintien de l'équilibre biologique de la région (Chevalier, 1972).

1960-1981 : une forte dynamique des aménagements fonciers portée par l'État et la profession

Les bases des grandes opérations d'aménagement foncier que sont le remembrement, le drainage des terres et zones humides et l'irrigation, ont été posées au cours de la période précédente. Leur mise en œuvre va connaître un développement spectaculaire dans un cadre volontariste de modernisation de l'agriculture, désormais porté conjointement par l'État et les organisations professionnelles agricoles. L'un des objectifs de la loi d'orientation agricole de 1962 est en effet formulé en ces termes : « Pour diminuer les coûts de production : conduire plus avant l'aménagement foncier et mieux organiser les surfaces agricoles. » Les aménagements fonciers vont ainsi se déployer à grande échelle. La connaissance des sols de France reste fragmentaire et portée principalement par des pédologues.

L'accélération du remembrement et son encadrement progressif

De 150 000 hectares remembrés en 1956, on dépasse les 400 000 hectares annuels de 1966 à 1976, avec un pic à 500 000 hectares en 1969 (Philippe et Polombo, 2009). En 1978, on franchit les 10 millions d'hectares cumulés remembrés, qui étaient l'objectif initial de l'État (Rieucau, 1962). Une partie de ce succès est liée au choix d'une décentralisation de la procédure dont la gestion est confiée à une Commission communale d'aménagement foncier, constituée pour chaque remembrement, chargée d'établir le consensus communal autour des échanges fonciers et des travaux connexes. Il faut souligner que l'indispensable estimation de la valeur agricole des terrains par la procédure ne repose pas sur une connaissance objectivée des sols, contrairement aux procédures adoptées dans d'autres pays comme la Belgique, qui établissent au préalable des cartes de sols (Party *et al.*, 2014). Le remembrement semble donc se passer de référentiel pédologique ou agronomique et est conduit sur la base d'une évaluation locale et partagée de la valeur des terres par les agriculteurs, que nous appellerions aujourd'hui « participative ». Si la loi du 10 juillet 1976 (qui pose les bases de la protection de la nature en France) et son décret d'application du 12 octobre 1977 instituent l'obligation d'une étude d'impact environnemental pour les opérations de remembrement et leurs travaux connexes, le sol n'y est pas mentionné comme objet d'attention : agronomes ou pédologues ne sont donc pas sollicités. Seules les manifestations de l'érosion qui apparaissent suite à la modification globale des paysages et aux évolutions des systèmes de culture mobiliseront les agronomes à partir des années 1980 pour en comprendre les mécanismes et esquisser des solutions de remédiation (Ouvry, 1992 ; Auzet et *al.*, 1995 ; Delahaye, 1996). L'étude hydraulique deviendra obligatoire en 1995 (décret du 27 janvier 1995).

Le développement exponentiel du drainage

La loi d'orientation agricole du 5 août 1960, complétée en 1962, définit ainsi l'objet de l'aménagement foncier : « assurer une structure des propriétés et des exploitations

agricoles et forestières conforme à une utilisation rationnelle des terres et des bâtiments » avec des « travaux connexes de nature à améliorer de façon rationnelle la productivité » (Philippe et Polombo, 2009). Cette orientation permet de lier au remembrement des terres, qui s'accélère, des travaux connexes d'arasement de talus, de haies, d'assainissement et de drainage. Un décret de mars 1972 fixe des taux d'aide de l'État pour les travaux de drainage, y compris pour l'achat de matériel permettant leur réalisation. Avec des aides importantes pouvant atteindre 30 % pour le drainage à la parcelle et jusqu'à 80 % pour les ouvrages collectifs, souvent complétées par celles des départements et régions, le rythme des chantiers de drainage augmentera d'abord doucement, puis s'accélérera dans les années 1970 (2 000 hectares drainés par an en 1965, 20 000 en 1972, 47 000 en 1976 et 105 000 en 1980) pour dépasser les 120 000 hectares par an durant les années 1982 à 1988. Cet effort contribuera de façon importante aux plus de 2 millions d'hectares drainés entre 1975 et 2000, sur une surface totale drainée estimée à un peu plus de 3 millions d'hectares en 2020, soit 20 % des surfaces en grandes cultures (Favrot, 1981 ; Vincent, 2020).

Dans cette période, les agronomes accompagnent cette dynamique en produisant des travaux sur les pertes de rendement liées à la durée de l'ennoyage des sols selon les espèces cultivées d'une part, sur les gains de rendement à attendre d'autre part, en insistant sur l'intérêt des modifications de l'itinéraire technique de la culture permises du fait de plus grandes facilités d'intervention dans la parcelle : avancement de la date de semis et respect des stades recommandés pour les apports d'azote par exemple (Viaux et Bodet, 1986). À côté, les réflexions techniques concernant la mise en œuvre du drainage mobilisent pédologues d'un côté et hydrauliciens de l'autre, pas toujours en accord pour optimiser les dimensionnements des réseaux et les méthodes de pose selon le milieu, le sol en particulier. Cependant, la connaissance des sols de France réellement mobilisable reste à ce moment très partielle.

L'accroissement rapide des surfaces irrigables

Après les opérations de grands aménagements hydrauliques pour l'irrigation dans la période précédente, mais aussi avec les progrès technologiques facilitant la mobilisation individuelle de ressources (pompages directs en nappe), les surfaces irrigables vont s'accroître elles aussi, passant de 500 000 hectares en 1955 à 1 325 000 hectares en 1979, atteignant 4,2 % de la SAU. La croissance se poursuivra jusqu'en 1997, où les surfaces irrigables culmineront à 2,7 millions d'hectares (Lacroix et Bergez, 2012), soit près de 10 % de la SAU.

La connaissance des sols de France : un effort inachevé de cartographie porté par des pédologues

« Dans les années 50 et 60, différents travaux de cartographie des sols étaient réalisés en France, pour des objectifs très variés et avec des techniques parfois sensiblement différentes, et cela, […] sous l'impulsion d'un certain nombre d'organismes : Service d'étude des sols de l'Inra à Montpellier, Chambres d'agriculture dont tout particulièrement celle de l'Aisne, Sociétés d'aménagement régional… » (Jamagne et Boulaine, 2004).

Dans un premier temps et grâce au renforcement de la politique de recherche scientifique et technique initiée en 1958 par l'État (création en 1959 d'une Délégation générale

à la recherche scientifique et technique auprès du 1er ministre qui mobilise des moyens), une carte pédologique de France au 1/1 000 000 est éditée en 1963. Elle agrège les travaux conduits depuis trente ans par les spécialistes français du sol (Cornu *et al.*, 2018).

Puis des pédologues parviennent à convaincre les pouvoirs publics de créer au sein de l'Inra en 1968 le Service d'étude des sols et de la carte pédologique de France (CESCPF), qui vise à une production cartographique pédologique harmonisée au 1/100 000, le programme « Connaissance pédologique de la France » (CPF). Fin 2013, ce programme couvrira 24 % du territoire par 40 feuilles CPF et environ 18 % au 1/50 000 par diverses études locales (Richer de Forges *et al.*, 2014). Mais il restera inachevé.

Le CESCPF fonctionnera ainsi de 1968 à 1998. La mobilisation de scientifiques au sein du CESCPF permettra d'avancer sur des fronts méthodologiques. Exploitant dès le début des années 1980 le potentiel des systèmes informatiques en plein essor, ils développeront les outils et concepts qui seront déployés pour la capitalisation des données (fiches de description standardisées Stipa, outil et base de données d'archivage des observations Donesol en 1990, structuration des données spatiales et sémantiques en SIG, etc.), toujours utilisés actuellement.

Les besoins de connaissance des sols à finalités agronomiques sont dans cette période plutôt couverts par des cartes locales de caractéristiques des sols à grande échelle et parfois par des typologies régionales de sol.

La carte des sols de l'Aisne, un modèle de cartographie des sols à vocation agronomique

La cartographie des sols de l'Aisne est lancée en 1957 à l'initiative de Jean Hébert, directeur de la station agronomique départementale, et avec l'engagement de la chambre d'agriculture. Elle est réalisée de 1958 à 1979 par une équipe permanente de 20 personnes sur des minutes au 1/5 000, pour une édition imprimée en 64 feuilles au 1/25 000. La carte se distingue des cartes pédologiques par son choix de représenter les propriétés physiques des sols plutôt que « le type génétique d'évolution pédologique, qui n'a qu'un intérêt réduit pour l'utilisation agronomique alors que l'utilisation du sol doit tenir compte des conditions physiques et s'y adapter » (Sommé, 1967). Elle se rapproche ainsi des recommandations de la FAO pour la cartographie des sols (Marc Benoît, témoignage personnel). Du fait des moyens considérables à réunir, mais peut-être aussi de la difficulté à lire et à transposer cette information en conseil agronomique avant la disponibilité des outils SIG qui apparaîtront dans les années 1990, cette expérience restera isolée, à l'exception des départements de la région Centre et de la Vienne, qui s'engagent dans une cartographie comparable au 1/50 000 au début des années 1980 (Moulin et Eimberck, 2011). La carte des sols de l'Aisne sera informatisée entre 1994 et 1998, facilitant de nombreux usages, dont l'établissement de plans d'épandage pour les boues et les effluents d'élevage.

1982-1992 : l'identification des limites des aménagements fonciers et d'un besoin de références agronomiques sur les sols

C'est au cours de cette période que la modernisation productiviste qui prévalait jusque-là commence à être revue au regard de l'environnement économique euro-

péen et international, tandis que les préoccupations environnementales s'inscrivent progressivement à l'agenda politique. Les pouvoirs publics commencent alors à prendre en considération la régulation des aménagements fonciers et leur intégration territoriale. Ainsi, le projet de loi de finance 1989 évoque des « contraintes résultant des limitations de la production en volume et des capacités des marchés solvables », et signale même pour la première fois que « les aménagements fonciers, l'hydraulique agricole et la maîtrise des sols revêtent une importance particulière, que renforce la nécessité de lutter contre la dégradation, l'érosion des sols, ainsi que la pollution des eaux par les nitrates » (Andlauer, 1990). Par ailleurs, pédologues et agronomes collaborent plus intensément sur des objets communs, secteurs de références et typologies.

Coup de frein sur le drainage

L'interrogation porte sur la capacité des exploitations agricoles à rentabiliser l'investissement lourd du drainage qui constituait le postulat des années 1970 (BIMA n° 1124, nov. 1985, Andlauer, 1990). Dans un contexte de surproduction et dans un souci de rationalisation de l'efficacité économique de ses aides, l'État réduit ainsi son soutien au drainage en deux étapes. Dès 1979, il plafonne le taux de l'aide au drainage à la parcelle à 10 % au lieu de 30 %, avant de la supprimer à partir de 1984. L'achat de machines de drainage n'est plus aidé ni même les ouvrages collectifs, sauf s'ils présentent un « intérêt régional ». L'aide de l'État se concentre sur les études préalables aux travaux. Seules exceptions : les zones de montagne, et les 70 secteurs de référence que l'État a implantés en collaboration avec l'ONIC, et dont l'objectif est de permettre « aux agriculteurs candidats au drainage de bénéficier d'un transfert de connaissances, de références et de technologies, du secteur de référence à leurs parcelles » (Andlauer, 1990) (encadré 9.2). Par contre, régions et départements peuvent continuer à aider les travaux sur leurs périmètres. Néanmoins, le rythme de drainage reste élevé jusqu'en 1990 (115 000 hectares cette année-là), mais chute à 36 000 hectares en 1993. La baisse

Encadré 9.2. Les secteurs de référence : une méthode d'identification des sols comme support aux références agronomiques

Le concept de « secteurs de référence » a été proposé en 1977 pour soutenir les choix techniques et de dimensionnement des solutions de drainage des terres humides, s'inscrivant ainsi dans les préoccupations productivistes classiques qui portent le développement très rapide du drainage. Ces études finalisées cartographient à haute résolution (1/10 000) les sols d'une petite zone de 200 à 3 000 hectares considérée représentative d'un territoire. Elles ont l'avantage de rapprocher pédologues et agronomes autour de l'objet sol, en envisageant en complément des enquêtes pour définir des recommandations pour l'après-drainage concernant les aptitudes culturales, la fertilisation, les amendements, le travail du sol. Cette méthode sera recommandée à partir de 1980 par le groupe de travail drainage du ministère de l'Agriculture, et sera déployée sur 109 secteurs entre 1980 et 2013, couvrant des besoins locaux de référence en drainage pour 70 secteurs (Andlauer, 1990), puis dans un second temps des thématiques élargies à l'irrigation, à l'aptitude des sols à l'épandage, au travail du sol et à l'agriculture de précision (Lagacherie et Laroche, 2013).

du rythme des travaux, dont seulement les deux tiers bénéficient de subventions au début des années 1990, relève à la fois d'une succession d'années sèches et des incertitudes qui ont précédé la profonde réforme de la PAC de 1992 (Frejefond *et al.*, 1996).

Les Cartes départementales des terres agricoles, une tentative pour les protéger

Dans les années 1970 commence à apparaître la nécessité d'une protection des espaces agricoles face à l'urbanisation et à l'aménagement, pour leurs valeurs à la fois productive, économique et sociale (le maintien des exploitants agricoles). Cette préoccupation conduit au lancement en 1980 d'un programme de Cartes départementales des terres agricoles (CDTA) au 1/50 000 (loi d'orientation agricole du 4 juillet 1980), première tentative d'élaboration d'un outil pour la protection des terres agricoles, utilisable pour la gestion et la programmation des améliorations foncières. Ce programme conçu nationalement sera rapidement arrêté du fait de son coût et de la sous-utilisation de ses produits. Par conception, les CDTA croisent deux types d'informations, pédologique d'une part, agroéconomique d'autre part. La première ne sera pas correctement capitalisée et sera parfois perdue, tandis que globalement les CDTA seront sous-utilisées dans les Directions départementales de l'agriculture (DDA) qui auraient dû exploiter cet investissement consenti par leur administration centrale. Au total, 85 feuilles seront éditées dans le cadre de ce programme, couvrant 4,3 millions d'hectares (Richer de Forges *et al.*, 2014), sans que les acteurs auxquels elles étaient destinées se les approprient, et sans que les levés pédologiques complémentaires qu'elles ont suscités soient correctement archivés. En particulier, il n'y a pas de tentative de mobilisation de cette information dans le cadre des procédures de remembrement qui se poursuivent par ailleurs.

Le sol dans le programme de Relance agronomique

Pour répondre aux inquiétudes relatives à la dégradation des conditions économiques qui apparaissent au cours des années 1970 (le « ciseau des prix ») et aux interrogations sur le modèle de développement moderniste et uniformisant qui montre ses limites, le ministère de l'Agriculture et l'Assemblée permanente des chambres d'agriculture (APCA) engagent un plan de Relance agronomique en s'appuyant sur un cercle d'agronomes issus de l'enseignement supérieur et de la recherche (Boiffin *et al.*, 2013b). Le plan est construit autour de trois axes : la formation en agronomie des agents de développement, des programmes agronomiques régionaux d'acquisition de références et un volet relatif aux analyses de terre et à la fertilisation raisonnée. « Au niveau technique, cela impliquait de mieux prendre en compte la diversité des conditions de milieu, des systèmes de culture et des exploitations agricoles, pour élaborer des conseils et références adaptés à chaque situation » (Manichon, *in* Boiffin *et al.*, 2013b). Concernant la connaissance des milieux, les programmes agronomiques régionaux ont fréquemment permis de combler des lacunes dans la connaissance et l'identification des sols en produisant des typologies régionales de sol tournées vers la production de références agronomiques dans les années 1980 et 1990 : Normandie (Amiet *et al.*, 1988), Pays de Loire (Lenfant, 1989), Nord (Schvartz *et al.*, 1988), Alsace (Party et Koller, 1995), etc. Par ailleurs, le programme de promotion des analyses de terre renforçait indirectement une politique de vulgarisation de la fertilisation et des amendements.

1993-2002 : l'ébauche d'un programme national de connaissance des sols de France

En cohérence avec les nouveaux enjeux reconnus pour la préservation de l'environnement, l'eau en particulier, cette période est marquée par le recul du soutien inconditionnel aux aménagements fonciers agricoles et par leur encadrement progressif. L'enjeu de connaissance des sols continue d'être porté surtout par une communauté scientifique plus attentive à l'agronomie et aux questions environnementales.

Les zones humides protégées par le Code de l'environnement

La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 dispose que « l'eau fait partie du patrimoine commun de la Nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, sont d'intérêt général ». À ce titre, elle prévoit en particulier la préservation des écosystèmes aquatiques, des sites et des zones humides, dont elle pose la définition. Cette reconnaissance de l'importance des zones humides ressort d'une prise de conscience internationale débutée au début des années 1960, actée par la Convention internationale de Ramsar en 1971 qui a été ratifiée par la France en 1986.

À partir de 1993, la loi sur l'eau va soumettre les projets de drainage à une procédure de déclaration, voire d'autorisation s'ils dépassent 20 hectares, et intégrant la préservation des zones humides. Ainsi, en un peu plus de quinze années, l'État sera passé d'une politique très forte de soutien financier au drainage à une politique de régulation environnementale. Les chantiers qui avaient commencé de régresser à partir de 1988 vont passer sous la barre des 40 000 hectares en 1992 et diminueront encore à 10 000 hectares annuels en 2000 (Vincent, 2020).

Des procédures pour protéger les terres agricoles de l'urbanisation

Le souci de protection des terres agricoles contre l'aménagement urbain se confirme : en 1998, le rythme annuel d'artificialisation des terres est estimé à 40 000 hectares, soit l'équivalent d'un département tous les dix ans (King *et al.*, 1999). Ce souci se traduit par des outils inscrits dans les lois d'orientation agricole successives : ce sont les zones agricoles protégées (ZAP) et les périmètres de protection des espaces naturels et agricoles périurbains (PAEN). En cohérence avec la logique de décentralisation, leur mise en œuvre repose sur l'engagement et la mobilisation des acteurs des territoires. Les ZAP sont créées par la loi d'orientation agricole de juillet 1999. C'est un périmètre de protection des terres agricoles contre tout changement d'affectation du sol en milieu périurbain qui altérerait de façon durable son potentiel agronomique, biologique ou économique. Il est actionnable par les communes ou leurs groupements. Les PAEN sont un dispositif institué par la loi relative au développement des territoires ruraux, dite « loi DTR » de 2005, pour permettre de préserver efficacement les espaces agricoles et naturels face à l'augmentation de la pression de l'urbanisation. Il est actionnable par les départements.

Les programmes de connaissance des sols de France réorientés

À la fin des années 1980, le constat est fait au sein de l'Inra que, d'une part, les moyens affectés au programme Connaissance pédologique de la France (CPF) sont insuffisants pour envisager une couverture totale du territoire à moyen terme ; et que, d'autre part, un inventaire systématique du territoire ne suffit pas à répondre à une demande

croissante et de plus en plus diversifiée et spécialisée sur les fonctions agronomiques et environnementales (King *et al.*, 1999). Ceci conduit à donner la priorité à une autre stratégie lancée en 1990, l'établissement de cartes au 1/250 000 appelées Référentiels régionaux pédologiques (RRP), complétées par les « secteurs de référence » thématisés et par des « inventaires » CPF au 1/50 000 ou 1/100 000. Ce sera la trame du programme Inventaire, gestion et conservation des sols (IGCS) mené par l'Inra et le ministère de l'Agriculture. À partir du milieu des années 1990, l'établissement des RRP sera confié contractuellement à des opérateurs régionaux volontaires (chambres d'agriculture, compagnies d'aménagement, associations, établissements d'enseignement supérieur, etc.), détachant ainsi leur réalisation de la limitation des moyens humains mobilisables au sein d'une institution scientifique nationale. Les travaux de connaissance des sols conduits en Alsace illustrent cette organisation décentralisée (encadré 9.3). Mais le déploiement véritable de cette stratégie ne se fera qu'à partir des années 2000.

Encadré 9.3. Des *Guides des sols d'Alsace* au Référentiel régional pédologique

Comme beaucoup de régions françaises, au début des années 1980, l'Alsace ne dispose pas d'une carte exhaustive des sols, même si des cartes thématiques locales existent : carte des sols de la Hardt au 1/25 000 pour l'irrigation (1969), carte des sols du Sundgau pour l'alimentation en eau du projet de canal Rhin-Rhône à grand gabarit (1979). Le centre Inra de Colmar est l'acteur numéro un de la connaissance des sols, et ses experts interviennent sur sollicitation de l'administration ou de collectivités pour des études plus locales. Pas plus les conseillers agricoles des chambres d'agriculture que les DDA ne disposent alors de documents accessibles et mobilisables pour un conseil agronomique reposant sur des caractéristiques de sol identifiées.

Dans le cadre du programme régional de Relance agronomique lancé ici en 1984 avec la création de l'Association pour la relance agronomique en Alsace (ARAA), l'Inra propose d'une part de structurer une base de données autour des résultats des analyses de terre collectées, dont une partie est géoréférencée, et d'autre part de mettre à disposition la connaissance experte détenue sous forme de guides locaux descriptifs des sols d'une petite région. Un premier prototype de guide illustrant le concept est élaboré par Hubert Mettauer en 1989, sur le secteur de l'Ochsenfeld. Ces deux projets sont repris et conduits à terme par l'ARAA avec les moyens du programme Relance agronomique et aboutissent respectivement à la base de données Clara (Consultation et lecture des analyses de la région Alsace), et plus tardivement à la publication de la première version du *Guide des sols de la plaine Centre-Alsace* (Party et Koller, 1995).

Ce guide comporte un zonage des sols à l'échelle du 1/100 000, une clé d'identification et des fiches descriptives des sols complétées par des interprétations agronomiques poussées relatives à des questions déjà sensibles dans le contexte régional, comme les besoins en eau des cultures, la fertilisation et le risque de lessivage des nitrates, la circulation de l'eau dans le sol, le risque d'excès d'eau et les besoins en drainage, la sensibilité au ruissellement, le pouvoir épurateur vis-à-vis des épandages de produits organiques, boues de stations d'épuration en particulier.

De ce fait, l'accueil de ce premier ouvrage par la région et l'Agence de l'eau Rhin-Meuse est très positif. Ces instances sont en effet engagées dans la protection de la nappe phréatique d'Alsace à travers le soutien aux opérations Ferti-Mieux de prévention des pertes d'azote vers les nappes, et dans la promotion et la régulation des épandages de boues de station d'épuration. Un programme d'ensemble est alors établi avec elles en

Encadré 9.3. Des *Guides des sols d'Alsace* au Référentiel régional pédologique (suite)

vue de disposer de ce type d'ouvrage pour chacune des dix petites régions naturelles composant l'espace agricole alsacien hors montagne. Les observations de terrain sont confiées à des prestataires sous le contrôle de l'ARAA selon un cahier des charges qui comporte la saisie des profils observés ou collectés au format Donesol et l'alimentation d'une base de données au format IGCS portée par l'ARAA. La publication de l'ensemble des guides s'étalera de 1999 à 2008, sous maîtrise d'ouvrage de la région Alsace. Ce travail capitalisé facilitera la réalisation du Référentiel régional pédologique, qui sera achevé et labellisé en 2011. Dès lors, l'Alsace dispose de deux bases de données sol harmonisées respectivement au 1/250 000 (2011) et au 1/100 000 hors montagne (2015).

Mais, sans attendre la disponibilité de cette couverture exhaustive, l'existence connue d'une base de données des sols d'Alsace en cours de constitution a conduit à de nombreuses sollicitations adressées à l'ARAA pour des travaux d'interprétation sur diverses thématiques pour l'administration : sensibilité des bassins-versants au transfert des phytosanitaires en 2004 (Koller *et al.*, 2005), identification des sols favorables au grand hamster (2005), sensibilité à l'érosion et aux coulées d'eau boueuses (2007), identification des zones potentiellement humides (2010), etc. Ces travaux de commande s'ajoutent aux utilisations internes, comme les cartes de sensibilité au lessivage des nitrates, l'expertise de l'aptitude des terrains aux épandages de boues de stations d'épuration, la cartographie des risques de ruissellement et d'érosion, et récemment l'estimation des capacités de stockage de carbone par les systèmes de culture. Il faut cependant relever que la majorité des questions adressées relèvent d'une thématique environnementale, et que les fonctions de production sont peu questionnées. Ces travaux nécessitent bien sûr le croisement de nombreuses couches de données spatialisées, et cette compétence est une spécificité de l'interprétation des bases de données sol au service des acteurs d'un territoire.

À la fin des années 1990, une réflexion est conduite au sein de la direction scientifique Environnement, forêt et agronomie de l'Inra sur l'ensemble des enjeux anciens et émergents relatifs aux sols et sur l'état de leur prise en compte (Boiffin et Stengel, 2000). Sur le mode de l'auto-saisine, le constat produit souligne le retard pris dans l'inventaire des sols de France et identifie les enjeux nouveaux (érosion, acidification, pollutions, protection des ressources naturelles, etc.) qui devront mobiliser une connaissance renouvelée des sols du territoire national « pour répondre aux besoins de l'agriculture et de la décision publique ». Il pointe aussi la faiblesse d'une surveillance patrimoniale nécessaire pour anticiper d'éventuelles dégradations des fonctions des sols. Il identifie enfin les connaissances et compétences qui seront nécessaires à l'exploitation des données par une ingénierie agro-environnementale. Cet argumentaire, intitulé « Réapprendre le sol : nouvel enjeu pour l'agriculture et l'espace rural », trouvera un écho favorable d'abord au sein de l'institution et auprès du ministère de l'Environnement, puis de celui de l'Agriculture. Il inspirera un renouvellement et une amplification de l'effort public de connaissance des sols dès le début de la période suivante.

2003-2020 : le sol reconnu pourvoyeur de services écosystémiques

Durant cette période, la question de l'aménagement ou de l'amélioration foncière des terres agricoles n'est clairement plus un projet public majeur au sens des politiques agricoles, sauf leur protection contre l'urbanisation. Mais d'autres questionnements apparaissent autour des services écosystémiques portés par les sols et de leur

protection, liés à la fois à des interrogations professionnelles et à de nouvelles demandes sociétales plus multifonctionnelles adressées aux territoires agricoles. Cependant, la prise de conscience de l'importance de ces services par les autorités publiques est lente du fait de la complexité du sujet, et sa prise en charge par les politiques publiques est encore très incomplète et peu lisible.

Plus récemment, les exigences d'atténuation du changement climatique et la nécessaire adaptation de l'agriculture à celui-ci sont reconnues comme des enjeux majeurs et conduisent les pouvoirs publics à s'intéresser de nouveau à la gestion des sols, en relation avec la demande en irrigation et en drainage.

L'émergence d'une nouvelle perception du sol, milieu vivant et pourvoyeur de services

À partir des années 1990, une nouvelle perception et compréhension du sol apparaît et se diffuse en France par plusieurs voies.

S'inspirant de pratiques visitées sur les deux continents américains aux États-Unis et au Brésil, des agriculteurs et des techniciens pionniers se sont intéressés au non-labour et au semis sous couvert. Ils s'organisent en associations qui sont l'expression d'un mouvement en décalage de la recherche et de l'appareil de développement institutionnel. Apparaissent ainsi le Festival non labour et semis direct (1998), l'Association pour la promotion d'une agriculture durable (APAD, 1998), l'association Biodiversité, agriculture, sol et environnement (BASE, 2000), la revue *Techniques culturales simplifiées* (2000), etc., toujours actives en 2020. Ces pionniers organisés en réseaux expérimentent le non-labour, les couverts végétaux, et se forgent la conviction de travailler avec et pour un sol vivant en intégrant souvent des exigences environnementales.

À partir des années 2000, des scientifiques qui ont développé des travaux sur le fonctionnement de l'écosystème sol contribuent à renouveler la vision des agronomes sur cet objet. Ils en assurent la diffusion à l'occasion d'interventions et de formations comme l'École thématique biodiversité et écologie du sol, dont la première session se tient en 2008, et accompagnent parfois les groupes d'agriculteurs innovants. Ensemble, ils tentent de définir des indicateurs de fertilité biologique des sols agricoles, comme dans le programme AgrInnov (Cannavacciulo *et al.*, 2017).

De leur côté, les écologues définissent le concept de service écosystémique, qui sera mis en avant par le Millennium Ecosystem Assessment (Reid *et al.*, 2005). Le sol est perçu comme une composante des écosystèmes et ses différentes fonctions et services clairement identifiés au-delà de la seule production agricole et forestière : transformation des matières organiques, filtration, épuration, régulation des événements extrêmes dans le cadre du cycle de l'eau, régulation des gaz à effet de serre, patrimoine et ressource génétique, auto-entretien, etc. Dans cette logique, le ministère en charge de l'Écologie initie en 1998 le programme de recherche Gessol (Fonctions environnementales et gestion du patrimoine sol) qui se déploiera jusqu'en 2015.

La difficulté d'engager une politique de protection et de gestion durable des sols

L'objet sol et les enjeux qui s'y rattachent s'inscrivent même dans l'agenda politique européen. Après des travaux préparatoires achevés en 2004 (Van-Camp *et al.*, 2004),

la Commission européenne présente en 2006 une communication intitulée « Stratégie thématique en faveur de la protection des sols ». Elle identifie un certain nombre de menaces : érosion, diminution de la teneur en matières organiques, contamination locale et diffuse, imperméabilisation, tassement, diminution de la biodiversité, salinisation, inondations et glissements de terrain, qui peuvent affecter les services attendus des sols (Commission européenne, 2006). À sa suite, un projet de directive sera adopté par le Parlement européen en 2007 avant d'être longuement négocié entre les États puis retiré en mai 2014, Allemagne et France en particulier y étant opposées. Les arguments avancés pour ce retrait sont que les sols sont déjà pris en compte dans de nombreuses réglementations européennes et nationales. Mais il apparaît également que la mise en opposition des pratiques agricoles avec la conservation de la biodiversité du sol a été un motif fort de rejet de la part de la profession agricole en France (Fournil *et al.*, 2018).

Néanmoins, le sol devient un objet visible dans l'agenda politique, et il suscite depuis 2014 de nombreux travaux au sein de différentes instances publiques ou professionnelles nationales, qui interrogent la mise en place de politiques de gestion durable et de protection des sols : Conseil scientifique du patrimoine naturel et de la biodiversité (2014), Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux et Conseil général de l'environnement et du développement durable (Bellec *et al.*, 2015), Conseil économique, social et environnemental (Courtoux et Claveirole, 2015), Agrosolutions (2016), Académie d'agriculture (2018). Fin 2019, la 2e chambre de la Cour des comptes elle-même entreprend de préparer une note de cadrage sur la problématique des sols. Sur le plan européen également, le sujet est repris dans le cadre de la Stratégie en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030, dont l'une des ambitions est de contrôler l'artificialisation des sols et de restaurer les écosystèmes des sols, et qui devrait conduire à une actualisation de la Stratégie thématique pour la protection des sols dès 2021 (Commission européenne, 2020). Un Observatoire européen des sols a été ainsi lancé en décembre 2020 pour vérifier l'atteinte de l'objectif de « 75 % de sols sains et en mesure de fournir des services écosystémiques essentiels en 2030 ».

Cette prise de conscience se traduit aussi par le lancement en juin 2014 d'un plan de transition agroécologique par le ministère de l'Agriculture. Il est fondé sur le concept d'agriculture écologiquement intensive. Il avance que le maintien de la biodiversité des sols et de ses fonctions écologiques est une ressource et une opportunité pour les agriculteurs, devenant ainsi un projet plus acceptable pour la profession que celui de la directive européenne sur les sols (Fournil *et al.*, 2018). Puis en 2015, à l'occasion de la COP21, intervient le lancement de « l'initiative 4 pour 1 000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat », largement promue par les organismes de recherche. Elle vise à fédérer les acteurs volontaires publics et privés pour lancer des actions concrètes sur le stockage du carbone dans les sols et les pratiques pour y parvenir. Dans les deux programmes, les services liés aux sols sont clairement identifiés comme des enjeux, et la recherche se trouve mobilisée et stimulée par les pouvoirs publics aux côtés du développement. L'évaluation des actions réellement abouties dans ces deux programmes ambitieux et de moyen terme reste cependant à conduire. Par ailleurs, ces initiatives concernent les sols agricoles et forestiers principalement dans leurs fonctions productives et en réponse à des modes de gestion, tandis que la préservation des sols en tant que milieu spécifique soumis à des pressions et risques divers reste éparpillée entre différentes réglementations sectorielles et continue de manquer de lisibilité. En particulier, le rôle central des sols dans la stratégie globale de protection de la biodiversité reste à approfondir.

Vers la première carte complète des sols de France au 1/250 000

Pour accélérer la mise en œuvre du programme IGCS lancé en 1990, un groupement d'intérêt scientifique Sol (GIS Sol) est créé en 2001 entre les acteurs de politiques publiques concernés par les sols « pour constituer et gérer un système d'information sur les sols de France et répondre aux demandes des pouvoirs publics et de la société au niveau local et national » (Arrouays *et al.*, 2004). Les membres en sont les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) et des institutions de recherche finalisée : Institut national de la recherche agronomique (Inra), Institut de recherche pour le développement (IRD), rejoints plus tard par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et l'Agence française pour la biodiversité (AFB). La mise en œuvre de ce programme est confiée la même année à une unité Inra dédiée, dite « unité de service », InfoSol. En parallèle de la réalisation des RRP, le GIS Sol entreprend de déployer un outil de surveillance des sols à long terme, le Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) (Arrouays *et al.*, 2021). Il reprend ainsi des éléments proposés dans l'analyse de Boiffin et Stengel en 2000.

En pratique, et dans une logique de décentralisation visant à mobiliser des acteurs et des moyens régionaux, l'unité InfoSol collabore avec un réseau de maîtres d'ouvrage régionaux (chambres d'agriculture, associations, écoles supérieures d'enseignement agricole, compagnie d'aménagement) auxquels il apporte un soutien méthodologique. Ces maîtres d'ouvrage régionaux assurent des valorisations thématiques adaptées à des enjeux locaux, garantissant l'intérêt et l'usage de l'information produite ainsi qu'un relais de lobbying capable de mobiliser les crédits régionaux indispensables pour compléter les moyens limités accordés par l'État.

Toutefois, même si le dispositif est remarquablement stable depuis l'origine d'IGCS, l'achèvement de la couverture de la France en Référentiels régionaux pédologiques au 1/250 000 est tributaire de l'émergence de ces maîtres d'ouvrage régionaux et du soutien que ceux-ci trouvent sur leur territoire en complément des moyens comptés du GIS Sol. Ainsi, en 2020, au terme de trois décennies, la couverture RRP est disponible pour plus de 90 % du territoire métropolitain, mais ne sera achevée qu'après cette date pour les dernières régions. Et ceci malgré une demande forte de l'État qui doit faire reposer la nouvelle délimitation des « zones défavorisées simples » éligibles à la PAC sur une série de critères sols spatialisés selon une exigence européenne. L'identification des sols de France par les RRP est toutefois suffisamment avancée pour constituer depuis mars 2020 une des couches d'information proposée par le Géoportail. Le RMQS aboutit de son côté dès 2011 à une première Synthèse sur l'état des sols de France (GIS Sol, 2011).

L'implication des agronomes pour une valorisation de la connaissance des sols de France

Suite à l'extension de la couverture territoriale par les RRP, les agronomes engagés dans le réseau des maîtres d'ouvrage régionaux, particulièrement ceux des nombreuses chambres d'agriculture proches des préoccupations des professionnels agricoles, s'interrogent sur la valorisation des inventaires de sol ainsi constitués. Dès 2011, ils se posent la question de la façon dont les données « sol » capitalisées dans des bases

de données d'accès complexe peuvent être mobilisées dans le cadre du conseil agronomique, particulièrement dans les nombreux outils d'aide à la décision et d'évaluation agro-environnementale qui sont proposés aux agriculteurs depuis le début des années 2000. Ceux-ci requièrent en effet une identification des caractéristiques fonctionnelles de sol au niveau parcellaire, comme la texture ou l'estimation du réservoir utile. Regroupés depuis 2011 au sein d'un réseau mixte technologique, le RMT Sols et territoires, ces agronomes associés à des pédologues conçoivent ainsi un produit dérivé des RRP qui valorise les informations de caractérisation agronomique des sols sous une forme adaptée au conseil agronomique en grande culture, les typologies de sol TypTerres, ainsi que la méthode d'élaboration de ces typologies (Laroche *et al.*, 2020). Ce RMT explore aussi la question de l'intégration de la connaissance des sols dans les différents outils et procédures d'aménagement, comme dans le récent projet MUSE (Marseille *et al.*, 2019) : il s'agit de proposer aux collectivités territoriales des outils leur permettant de prendre en compte la multifonctionnalité des sols dans la gestion de leur territoire.

Irrigation, drainage, sols et changement climatique

Parmi les aménagements fonciers, seule l'irrigation a poursuivi son développement jusqu'au début des années 2000, atteignant un maximum d'extension à 2,7 millions d'hectares irrigables, soit près de 10 % de la SAU. Les surfaces irriguées se situent alors entre 1,6 et 1,9 million d'hectares selon les années, fonction de l'irrigation conjoncturelle des céréales à paille. Les surfaces en maïs grain et semence représentent alors près de la moitié des surfaces irriguées. En 2010, on constate une diminution des surfaces irrigables à 2,3 millions d'hectares et une stabilité des surfaces irriguées, mais avec un recul de 17 % des surfaces de maïs irriguées (Lerbourg, 2012 ; Lacroix et Bergez, 2012). C'est le résultat des effets combinés de divers éléments de politiques publiques : d'abord l'introduction d'une réforme des autorisations de prélèvement sur certains territoires régulièrement concernés par des déficits en eau liés à l'activité agricole, avec une régulation plus forte de ceux-ci (création des Organismes uniques de gestion collective de l'eau, OUGC, par la loi sur l'eau de 2006), puis le découplage des aides de la PAC spécifiques aux cultures irriguées en 2012. Ces évolutions conduisent les agronomes à renforcer des coopérations entre recherche et instituts techniques avec la création de l'unité mixte technologique Eau par Arvalis-Institut du végétal, l'Inra et le Cetiom en 2006. Il s'agit de questionner les assolements et proposer leur optimisation avec l'aide d'outils de simulation techniques et économiques à l'échelle de l'exploitation agricole (outil LORA d'Arvalis en 2010) puis à l'échelle du territoire pour répondre aux besoins créés par les OUGC (plateforme Maelia à partir de 2009).

Au-delà de ces évolutions, depuis 2015, la prise de conscience des enjeux posés par le changement climatique interroge la doctrine publique concernant l'irrigation, entre soutien de la production et préservation des milieux aquatiques : les ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement questionnent leurs experts sur ces sujets (Colas-Belcour *et al.*, 2015 ; Ayphassorho *et al.*, 2020). Le plus récent de ces deux rapports émet des recommandations qui dépassent largement les seules préoccupations de renforcement durable de la ressource en eau pour l'irrigation et préconise un changement de modèle agricole, plus économe en eau et protecteur des sols. En particulier, il préconise de « faire des sols le socle de la stratégie de l'adaptation de

l'agriculture au changement climatique » en développant une politique nationale ambitieuse en faveur des sols, première infrastructure naturelle de stockage de l'eau, qui placerait les sols « sous la sauvegarde de la nation », avec des actions publiques en faveur de l'agriculture de conservation, de la séquestration du carbone et de la prise en compte des sols dans l'aménagement des territoires.

Concernant le drainage, ce même rapport souligne son importance pour la production des cultures d'hiver dans un contexte d'augmentation prévue des pluies hivernales. Pourtant, durant cette période, les travaux de drainage se sont considérablement ralentis, au rythme de 6 000 ha/an entre 2000 et 2010 (ONB, 2019). Car, comme tous les aménagements fonciers agricoles ou non, depuis la loi sur l'eau de 1992, les travaux de drainage sont confrontés à la nécessité de préserver les zones humides. L'identification de celles-ci va être précisée par un arrêté ministériel du 24 juin 2006, qui indique clairement qu'elle repose sur des critères de végétation et de sol. Pour la première fois, une caractéristique précise du sol (ici son degré d'hydromorphie) est mobilisée dans un texte réglementaire. La nouveauté de cette procédure normée va nécessiter des clarifications et amener des agronomes à produire des documents d'appui technique pour sa mise en œuvre : *Guide d'identification et de délimitation des sols des zones humides* (Schnebelen et Laroche, 2013), *Guide à l'usage des conseillers* (Dury et Di Franco, 2017). En complément, comme il y a peu de techniciens expérimentés opérationnels, des demandes de formation vont être formulées de la part des agents des agences de l'eau, de l'Onema, des entreprises de drainage, etc., auprès des quelques pédologues ou agronomes qui maîtrisent cette identification.

En l'absence de données statistiques totalement fiables, il semble néanmoins que le rythme des travaux de drainage atteigne en fin de période les 20 000 ha/an pour un total de 3 millions d'hectares drainés, et l'organisation en octobre 2018 du premier colloque national consacré au drainage depuis trente ans est le signe d'un regain d'intérêt pour ce type d'aménagement foncier, qui doit cependant faire la preuve de son intérêt comme outil de gestion durable de l'eau (Vincent, 2020).

Sols et aménagements dans les politiques publiques

Cette histoire est marquée par un engagement très fort de l'État à partir de 1945 en faveur d'une politique de développement rapide des aménagements fonciers, jusqu'au milieu des années 1980 : le remembrement, le drainage et l'irrigation sont l'objet de politiques fortes de soutien et d'investissements. Elles traduisent en actes le projet de modernisation globale de la production agricole et de son intensification, avant qu'une régulation environnementale des procédures d'aménagement apparaisse dans les années 1990 et freine cette dynamique. Les connaissances agronomiques sont à l'origine mobilisées en simple accompagnement du projet, pour la valorisation des investissements consentis. Dans un second temps, les agronomes s'investiront pour analyser et comprendre les dysfonctions de cette modernisation : l'érosion, la mauvaise valorisation des terres drainées, etc.

En comparaison, la connaissance des sols sur lesquels s'exercent ces aménagements n'a jamais fait l'objet d'une politique nationale forte. Elle a d'abord été portée majoritairement par des pédologues restituant leurs connaissances dans le mode de la

pédologie génétique jusque dans les années 1980, avant que des agronomes prennent progressivement le relais, utilisateurs des outils cartographiques et soutenus par quelques relais scientifiques institutionnels. Aujourd'hui encore, au moment où les préoccupations environnementales se sont installées dans la durée, et où des outils de compréhension, d'analyse et de gestion des processus concernés se construisent et nécessitent une bonne connaissance spatialisée des sols (qu'il s'agisse d'outils d'aide à la décision pour l'optimisation de la mise en œuvre des techniques agricoles ou d'outils d'analyse territoriale à portée stratégique), cette connaissance reste inachevée et souvent sous-exploitée quand elle existe.

De la même façon, il est difficile d'établir des bilans nationaux ou locaux des aménagements et de leurs conséquences sur l'utilisation des terres. Tout comme la connaissance précise des surfaces drainées ou irriguées, celle de l'utilisation réelle des terres reste encore mal renseignée ou difficile d'accès. Les données statistiques sont lacunaires et peu d'informations sont accessibles par le Géoportail.

Pour connaître et objectiver la régression des terres agricoles, un Observatoire national de consommation des espaces agricoles est installé en 2010 (loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche du 27 juillet 2010). Son champ est élargi en 2013 en Observatoire national des espaces naturels, agricoles et forestiers (loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014). L'observatoire national est relayé par des commissions départementales de la consommation des espaces agricoles dont les avis peuvent être contraignants. Mais la réflexion sur la représentation de la valeur des espaces agricoles reste complexe (les CDTA ont constitué une tentative non aboutie) et les agronomes sont peu sollicités pour l'aborder. Ils ne s'en emparent que récemment, pour construire une vision renouvelée des territoires et des services écosystémiques dont ils sont porteurs, grâce aux capacités combinées de modèles et de systèmes d'information géographique faciles d'usage qui ont intégré la boîte à outil des agronomes.

Alors que la conscience de la fragilité et de l'importance des sols augmente dans la communauté scientifique, depuis les années 2000, pour les nombreux services écosystémiques qu'ils portent au-delà du seul service de production, l'objet sol reste ainsi bien souvent considéré par les politiques publiques plus comme une surface que comme un milieu ou un « bien commun ». Les réticences sont fortes à une évolution de cette perception, du fait de son invisibilité en qualité de milieu d'une part, de son statut de bien privé d'autre part. Ainsi à ce jour, dans des territoires où la demande foncière est forte et devant la multiplicité des acteurs et le poids des enjeux économiques, les politiques publiques se limitent à la mise à disposition d'outils de constat et d'action volontaire dans l'espoir d'une régulation locale de l'artificialisation des terres.

Pour les agronomes, profitant de la prise de conscience actuelle des enjeux liés au bon état des sols tant en France qu'en Europe, il s'agit aujourd'hui de continuer à expliciter les besoins en connaissances opérationnelles et spatialisées des sols. Celles-ci doivent permettre de contribuer à une évaluation de leurs potentialités dans tous les services attendus (production, stockage de carbone, filtration de l'eau, etc.) et aider à établir des relations constructives entre les différents acteurs concernés.

La question de la « métrique » (les systèmes de mesure, indicateurs et dispositifs de monitoring) qui permettra de qualifier les sols d'un territoire de façon consensuelle

vis-à-vis des différents services est un des enjeux de cette requalification : à côté de jeux complets d'indicateurs comme ceux proposés par l'Ademe (Calvaruso *et al.*, 2019), le carbone organique du sol est parfois proposé comme indicateur générique de la multifonctionnalité (Fournil *et al.*, 2018), et le réservoir utile en eau comme indicateur de la valeur agronomique (Laroche *et al.*, 2006).

La modélisation spatialisée à toutes les échelles de ces indicateurs et de leurs évolutions en réponse aux systèmes de culture d'une part, la capacité à la mettre en œuvre de façon opérationnelle et interactive auprès des acteurs des territoires d'autre part, sont deux autres enjeux. Les agronomes prenant en charge la problématique de l'érosion, pour laquelle la distribution spatiale et l'emboîtement aux différentes échelles des processus impliqués sont décisifs, ont été pionniers dans ce domaine. Dès le début des années 2000, ils élaborent des modèles et en conçoivent leur utilisation en interaction avec les acteurs locaux, dans une logique de modélisation d'accompagnement (Cerdan *et al.*, 2002; Barreteau *et al.*, 2010; Souchère *et al.*, 2010). L'agronomie et les agronomes doivent s'inscrire dans cette orientation pour contribuer à des politiques publiques efficaces aux différentes échelles des territoires.

⏩ La protection des plantes et l'usage des produits phytosanitaires

Les politiques publiques concernant la protection des plantes se déclinent vis-à-vis de différents enjeux concernant l'agriculture et souvent les agronomes. Nous pouvons distinguer les principaux enjeux dont les empilements temporels, très généralement cumulatifs, créent progressivement une complexification croissante des attentes à l'égard des agricultures, et par conséquent des métiers des agronomes. Les principaux enjeux liés à l'usage des produits phytosanitaires recoupent de nombreuses politiques publiques :
- le rendement des cultures par la protection contre les ravageurs et parasites;
- la pollution de l'environnement et des ressources naturelles;
- la contamination de l'alimentation;
- la santé des travailleurs agricoles et de la population impactée;
- la préservation de la biodiversité et des régulations biologiques.

L'histoire de la protection des plantes est plus que séculaire. Avant la Première Guerre mondiale, seules des molécules de formes métalliques étaient utilisées, puis l'histoire de la chimie organique croise celle de la protection des plantes, avec une création et un usage toujours accrus de nouvelles molécules (tableau 9.1).

Avant 1940 : un usage peu réglementé, au service d'une protection des plantes limitée

Dès la fin du XIXe siècle, les sels de cuivre sont massivement utilisés contre les attaques fongiques, et continuent de l'être actuellement sur des productions spécifiques : vignoble et cultures horticoles. Puis, au début du XXe siècle, d'autres sels métalliques s'ajoutent : sels de mercure, puis les arséniates se développent, arsénite de cuivre et arséniate de plomb en particulier.

Le perfectionnement des gaz de combat lors du premier conflit mondial et le développement de la chimie organique à partir des années 1930 permettent l'apparition d'un grand nombre de pesticides organiques de synthèse (Lejeune, 2013). Les propriétés

Tableau 9.1. Historique des principales familles de produits utilisés en protection des plantes (source : Sénat, *in* Bajard, 2016).

	Herbicides	Fongicides	Insecticides
Avant 1900	Sulfate de cuivre, sulfate de fer	Soufre, sels de cuivre	Nicotine
1900-1920	Acide sulfurique		Sels d'arsenic
1920-1940	Colorants nitrés		
1940-1950	Phytohormones		Organochlorés, organophosphorés
1950-1960	Triazines, urées substituées, carbamates	Dithiocarbamates, phtalimides	Carbamates
1960-1970	Bypiridyles, toluidines	Benzimidazoles	
1970-1980	Amino-phosphonates, proprionates	Triazoles, dicarboximides, amides, phosphites, morpholines	Pyréthrinoïdes, benzoylurées (régulateurs de croissance)
1980-1990	Sulfonylurées		
1990-2000		Phénylpyroles, strobilurines	Néonicotinoïdes

insecticides du DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) sont mises en évidence en 1939. Il sera le premier représentant commercialisé de la famille des organochlorés, qui domineront le marché des insecticides jusqu'aux années 1970 (Bajard, 2016).

1945-1959 : un usage de pionniers en utilisant les molécules issues de l'effort de guerre

Le DDT, puissant insecticide utilisé pour la première fois à des fins agricoles après la Seconde Guerre mondiale, est mis en cause dans deux ouvrages qui feront date : *Silent Spring* de Rachel Carson (1962), et *Avant que nature meure* de Jean Dorst (1965). Le premier provoqua une profonde prise de conscience des problèmes liés aux pesticides et à la pollution de l'environnement; il fallut attendre dix ans et de nombreux travaux de recherche pour aboutir à l'interdiction du DDT aux États-Unis en 1972. Le second est le premier ouvrage en français à lier explicitement les activités humaines et leurs impacts sur la nature. Ainsi, Jean Dorst affirme : « Même si l'homme décide de suivre aveuglément les bergers modernes, il a le devoir de prendre une assurance et de ne pas rompre tous les liens avec le milieu dans lequel il est né. Il faut chasser de notre esprit les concepts selon lesquels la seule manière de tirer profit de la surface du globe est une transformation complète des habitats et le remplacement des espèces sauvages par quelques végétaux et animaux domestiques. La conservation de la nature sauvage doit être défendue par d'autres arguments que la raison et notre intérêt immédiat. »

Donc, dès les années 1960, les écologues étudiaient les conséquences des molécules sur les écosystèmes, et les agronomes n'étaient alors pas présents dans la scène d'argumentations sur ce sujet.

La position des agronomes est plus classique et vise à insérer ces nouvelles innovations dans les techniques permettant de moderniser le pays. À la suite des nombreux voyages organisés aux États-Unis, René Dumont s'insère dans cette politique nationale de « rattrapage de notre retard de développement ». L'enjeu est progressivement d'adopter les systèmes de culture pratiqués outre-Atlantique *via* deux pratiques de développement principales en agronomie : la visite agronomique *in situ* aux États-Unis avec rédaction des comptes rendus de missions, les essais mis en place chez quelques agriculteurs souvent proches du mouvement des CETA initié en février 1944 par Bernard Poulain. Ainsi, la prise en charge de l'usage accru des produits phytosanitaires, sujet fréquent dans les CETA, a été à l'origine de nombreuses activités d'agronomes au sein des CETA : fiches techniques, essais au champ, tours de plaine.

1960-1981 : expansion de l'usage en grandes cultures

Dans la suite de cet effort de modernisation agricole de post-guerre, un usage va bouleverser les modes de culture et les raisonnements de la culture des céréales d'hiver : les hormones de croissance qui permettent de raccourcir la tige des céréales. Cette modification a deux conséquences majeures dans la conduite technique des céréales : permettre des densités de semis plus fortes et l'augmentation des fertilisations azotées. En effet, ces molécules agissent sur la longueur de la tige des céréales, qui, plus courte, supporte ces deux modifications sans craindre la verse qui obérait notablement la production de grains. Leur approbation par les politiques publiques d'autorisation de mise sur le marché (AMM) permit ainsi une intensification des itinéraires techniques de céréales pendant les quatre dernières décennies.

Leur insertion dans les systèmes de culture fut l'objet d'un énorme travail agronomique d'essais en parcelles d'agriculteurs, et aboutit à une quasi-généralisation de leur usage dans les itinéraires techniques des céréales.

1982-2002 : une généralisation des usages à contre-courant des politiques publiques environnementales

Nous avons, sur le sujet de la protection des plantes, une continuité de 1982 à 2002. La césure de 2002 est créée par la première interdiction, en 2001, d'une molécule très utilisée : l'atrazine, herbicide appliqué surtout sur le maïs, dont la sole croît considérablement en France de 1982 à 2002.

La montée en puissance des régulations des quantités de production (« politique des quotas ») et les incitations à une production moins coûteuse induisent une simplification des successions de culture (Xiao *et al.*, 2014 ; Schott *et al.*, 2018) et une forte diminution des surfaces en prairies permanentes (Xiao *et al.*, 2015). Ces deux évolutions agricoles majeures sont les déterminants d'un usage croissant des molécules chimiques de protection des plantes. Une seule variable contrarie cette tendance qui semblait non modifiable : l'apparition de grandes régulations

environnementales, en particulier en 1996 la Directive-cadre européenne sur l'eau, puis les arrêtés divers liés aux mortalités d'abeilles induisant une première tension sur l'usage des phytosanitaires.

La fin de cette période se caractérise par le début d'une tension « production agricole massivement utilisatrice de molécules chimiques de synthèse-protection de l'environnement » au sein des politiques publiques impliquées dans l'usage des molécules phytosanitaires.

2003-2020 : confusions entre politiques publiques, aggravation des tensions, mais ouverture à l'agronomie

L'expertise scientifique collective sur les pesticides de 2007 demandée par le ministère de l'Agriculture à l'Inra et au Cemagref rapporte : « L'étude bibliographique nous a rapidement montré que le thème de la consommation des pesticides était très peu abordé dans la littérature scientifique classique » (Aubertot *et al.*, 2005). Pour le traiter, il est nécessaire de se rapporter à des rapports d'études publiés par différents organismes privés (European Crop Protection Association, Union des industries de la protection des plantes et ses homologues dans les autres pays européens, firmes phytosanitaires, etc.) ou publics (ministères, Commission des communautés européennes, Food and Agriculture Organization, etc.). De plus, les chiffres publiés dans ces rapports sont très souvent estimés à partir des chiffres de vente des principales firmes phytopharmaceutiques. Dans le cas des données Eurostat de la Direction des statistiques de l'Union européenne, les chiffres sont fournis par l'European Crop Protection Association (ECPA), regroupant les sept principales firmes vendant des produits phytosanitaires en Europe (Aventis Crop Science, BASF, Syngenta, Bayer, Dupont de Nemours, Dow AgroSciences et Monsanto). À elles seules, ces firmes représentent 90 % du marché européen des produits de protection des plantes (Eurostat, 2002).

Force est de constater que les agronomes ne sont pas en mesure de rendre compte et d'expliquer l'usage réel des produits phytosanitaires par les agriculteurs. Et il renvoie à un enjeu de taille pour eux : comment connaître, en continu et pour tous les systèmes agraires français, la diversité des itinéraires techniques, et les usages des phytosanitaires induits ? En particulier, instruire leurs dynamiques temporelles et leurs localisations précises reste un point critique non résolu, où notre société attend les compétences des agronomes.

Des politiques publiques contradictoires face aux usages des produits phytosanitaires

La mise en œuvre de plans d'action agricole pour lutter contre les pollutions diffuses des eaux à l'échelle des aires d'alimentation de captage (AAC) est un outil central pour répondre aux exigences de la Directive-cadre sur l'eau. Elle s'appuie sur des dispositifs juridiques et techniques récents (encadré 9.4 à la fin du chapitre) et doit monter en puissance de façon importante dans les années à venir. Nous sommes en présence d'un nouveau faisceau de politiques publiques : schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage), déclaration d'utilité publique (DUP), zones soumises aux contraintes environnementales (ZSCE) qui sont souvent incompatibles avec les précédentes, autorisations de mise sur le marché (AMM), Politique agricole commune (PAC) (Bonnefoy, 2012).

L'élaboration des plans d'action agricole s'inscrit dans une démarche globale de protection des captages contre les pollutions diffuses et nécessite plusieurs étapes préliminaires (délimitation des AAC, identification des pressions et de la vulnérabilité intrinsèque). Le suivi national de cette démarche montre que, si les premières étapes ont bien été lancées et sont en général achevées ou en voie de l'être, l'élaboration des plans d'action est encore peu engagée. L'engagement du Grenelle de l'environnement, portant sur 500 captages prioritaires, arrive à échéance et les objectifs fixés seront probablement loin d'être respectés.

Au-delà de cette échéance, il est important de rappeler que ces travaux s'inscrivent dans le cadre plus général de la mise en œuvre de l'article 7 de la Directive-cadre sur l'eau. D'ici la fin des prochains Sdage, ce sont plus de 2 300 captages qui devront bénéficier d'un plan d'action, d'où des risques de contentieux européens en cas d'inaction sur les captages Grenelle, et plus largement sur l'ensemble des captages prioritaires des Sdage.

Un antagonisme entre politiques publiques : l'ampleur des zones non traitées

La question de la spatialisation des politiques publiques peut être illustrée avec l'exemple des zones non traitées (ZNT) pour la protection des riverains. Les pouvoirs publics ont d'abord défini des ZNT liées aux caractéristiques des molécules. Ainsi, dans un même itinéraire technique, deux applications de produits phytosanitaires différents peuvent conduire à des ZNT différentes. Mais une première bascule a lieu, sans mobilisation de l'agronomie, par des initiatives d'élus qui actent des arrêtés municipaux étendant toutes les ZNT, pour toute application à 150 mètres de lieux habités en permanence. Les tribunaux administratifs de Rennes et Créteil instruisent des réponses qui sont, en janvier 2020, contrastées : acceptation avec conditions dans un cas, rejet des arrêtés dans l'autre. Parallèlement aux jugements des tribunaux, de nombreux agriculteurs ont réagi vigoureusement. La décision du gouvernement, très attendue, a été officialisée fin décembre 2020 : une distance minimale, de 5 à 10 mètres en fonction des cultures et des produits, sera désormais à respecter par les agriculteurs qui épandent des produits phytosanitaires à proximité des habitations. Cette nouvelle réglementation entre en application dès le 1er janvier 2020.

Ainsi, en quelques mois, de nouveaux assolements naissent, dans ces bandes qualifiées en ZNT, sans implication des agronomes. Or cette question aurait pu être l'occasion de réaliser un remembrement multilocal, un réaménagement parcellaire à l'amiable où la répartition des systèmes de culture aurait été la clé d'entrée : prés de fauche proches des habitations, parcelles traitées plus loin ; maraîchers biologiques dans la ZNT, succession conventionnelle colza-blé-orge plus loin.

Ainsi, trois politiques publiques se sont télescopées : la politique nationale des ZNT par produit, la politique communale des conseils municipaux, la politique nationale des 5 à 10 mètres. À notre connaissance, il n'y a pas eu d'interpellation des acteurs de ces politiques vers les agronomes pour tenter de concevoir une intégration de ces politiques. Ce télescopage est encore d'actualité, comme le montre le récent arrêt du Conseil d'État qui « ordonne que les règles d'utilisation soient complétées pour mieux protéger la population » (Conseil d'État, 2021).

L'agronomie, longtemps en retrait, enfin mobilisée

Ainsi, pour conclure cet exemple, les superpositions d'enjeux liés à l'usage des produits phytosanitaires révèlent un séquençage en trois grandes périodes des relations politiques publiques-agronomie, mais le fait majeur est la superposition accrue d'enjeux successifs, ce qui complexifie notablement le métier des agronomes dans ce domaine :
– de 1945 à 1981 : réutilisation en agriculture des molécules issues de l'effort de recherche chimique pendant la Seconde Guerre mondiale, et mise en avant de la sécurité alimentaire et du faible coût de l'alimentation dans les dépenses des ménages. La généralisation d'un raisonnement macroéconomique sur l'agriculture (« le pétrole de la France ») et la réforme du développement agricole confiée aux professionnels de l'agriculture accompagnent la généralisation d'usage des produits phytosanitaires dans la diversité des systèmes de production français ;
– de 1982 à 2002 : montée en puissance des régulations des quantités de production (« politique des quotas ») et apparition de grandes régulations environnementales (Directive-cadre européenne sur l'eau) induisant une première tension sur l'usage des produits phytosanitaires. Nous vivons le début d'une tension « production-protection de l'environnement » au sein des politiques publiques impliquées dans l'usage des molécules phytosanitaires. La charnière est l'interdiction de l'atrazine en 2001, qui marque l'arrêt d'usage d'un des herbicides les plus utilisés sur cultures (maïs, etc.) ;
– de 2003 à 2020 et au-delà : au début de cette période se construisent les premières limitations réglementaires d'usage et les premières réflexions collectives de politiques de recherche (initiation de l'ESCo pesticides, prospective Inra-Cemagref sur l'eau et les milieux aquatiques, programmes de recherche de l'Onema). Puis elle voit la généralisation des crises judiciaires (procès, arrêtés municipaux) sur l'usage des produits et des polémiques concernant les agences de régulation (EFSA, Anses). Les produits phytosanitaires sont au cœur de tels conflits que leur seule nominalisation sous forme de produits phytosanitaires ou de pesticides suffit à poser les conditions de conflits entre acteurs de la société française. Dans ce contexte, un premier programme d'ampleur est enfin confié aux agronomes : Écophyto (encadré 9.4). En parallèle, la conception par les agronomes des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants, y compris dans la conception de systèmes de culture en agriculture biologique, prend un nouvel élan, et c'est une des principales réponses conçues par les agronomes à ces objectifs de politiques publiques concernant les produits phytosanitaires. Cette conception de systèmes de culture à bas niveaux d'intrants lie, par exemple, les conduites azotées et les protections des cultures, induisant un lien entre politiques publiques, actuellement toutes conçues par « tronçon ».

⏩ Entre agronomie et politiques publiques, des relations difficiles

Initiée par de fortes régulations dès le XIXe siècle (lois portées par Jules Méline sur le protectionnisme), l'aventure des relations entre politiques publiques et agronomie s'enrichira de nouveaux chapitres dans les décennies à venir. Ce chapitre se veut une courte introduction à une synthèse complète qui reste à rédiger, même si de remarquables pièces figurent déjà au dossier (Benoît *et al.*, 2008 ; Knittel, 2010 ; Denis, 2014 ; Cornu *et al.*, 2018).

Dans ce chapitre, nous nous sommes appuyés sur trois entrées thématiques reconnues du point de vue des agronomes, pour lesquels les plans d'action et règlements sont nombreux. Elles concernent donc des enjeux conséquents pour la société. Cependant, les questions relatives à la gestion de l'azote, à la gestion des sols et à l'aménagement foncier, à la protection des cultures, ne sont pas en elles-mêmes constitutives de politiques publiques unifiées. Ce constat est sans aucun doute le premier fait significatif de notre analyse concernant la relation entre agronomie et politiques publiques : les grandes questions agronomiques ne fondent pas en elles-mêmes des politiques publiques. Et réciproquement, les à-coups de politiques publiques ne font pas naître des questions agronomiques organisées. Une mise en relation systématique serait donc utile de part et d'autre et induirait un lieu partagé pour ce faire.

Ces trois exemples ne sont qu'une brève et incomplète illustration de l'histoire des relations difficiles entre agronomes, agronomie et politiques publiques. D'autres thèmes mériteraient notre attention : la fertilisation organique par les effluents, la protection de la biodiversité face à la sixième extinction d'espèces en cours, la qualité des produits végétaux (fruits, céréales et vigne offrent déjà des figures très contrastées, en particulier avec la politique des signes de qualité). Bref, les relations entre agronomie et politiques publiques sont très diverses, rarement satisfaisantes pour les agronomes, et se caractérisent par une dynamique forte, tant sur les sujets abordés que sur les rythmes d'interventions induits pour les agronomes, car l'agenda est exceptionnellement maîtrisé par ceux-ci.

Nous retenons quelques faits structurants de ces trois exemples d'histoires de relations entre politiques publiques et agronomie :
– il est difficile d'expérimenter et de faire valoir des approches plus innovantes qui sortent du cadre réglementaire issu d'un consensus acté, mais daté. Constatée avec Ferti-Mieux (une action volontaire et collective grâce à laquelle on pouvait un temps déroger à la réglementation du programme d'action directive Nitrates), cette difficulté se poursuit avec les méthodes alternatives pour calculer la fertilisation azotée des cultures hors méthode du bilan. Est-il possible de tenter des politiques publiques qui s'appuient sur des expériences réussies ?
– la réduction systématique des « subtilités liées à la dimension systémique de l'agronomie et à la diversité des situations » au moment de la mise en règlement, sous prétexte de faciliter les contrôles, pose un problème générique entre agronomes et décideurs publics. Nous avons la réputation de répondre souvent « ça dépend » aux questions simplistes de l'administration : combien d'azote ? Combien de mètres ? Ainsi, le travail mené sur les mesures à prendre au cas où il aurait fallu légiférer sur la coexistence OGM/non-OGM est un exemple frappant. Les agronomes ont développé une réflexion aboutie de la parcelle au territoire en passant par les filières pour proposer, d'une part, un nuancier de distance et d'outils d'évaluation des risques en fonction des régions, et, d'autre part, des dispositifs participatifs pour travailler cela avec les acteurs locaux. Le résultat fut un projet de décret qui aurait donné des distances minimales par culture partout en France !
– la faiblesse des moyens en agronomie combinée à l'absence de projet d'usage clair par les pouvoirs publics n'est pas en rapport avec les ambitions de constitution d'une connaissance systématique agronomique. Ainsi, nous comptons peu, et sur le temps long de moins en moins, d'agronomes dans les ministères (agriculture, environnement,

santé), Directions régionales de l'agriculture et de la forêt (Draaf), Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal), Directions départementales du territoire (DDT) et Établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) de toutes tailles, susceptibles de coconstruire avec leurs homologues de la recherche et du développement des projets de politique publique ;
– si une forte interaction avec les politiques publiques d'aménagement foncier est constatée pour certains aspects (cartographie des sols, période avant 1965), une lacune majeure demeure pour les agronomes : les usages agricoles des sols (successions de culture, arbres complantés, etc.) et leurs impacts sur les services écosystémiques impliqués dans de nombreuses politiques publiques (LEMA de 2006, directive européenne Habitats de 1992, etc.) ne sont toujours pas instruits, ni intégrés aux documents d'urbanisme (PLU, PLUI, etc.) (Boiffin *et al.*, 2014) ;
– depuis vingt ans, la prise de conscience progressive que le sol constitue un quatrième bien public après l'eau, l'air et la biodiversité, se heurte à de nombreuses lenteurs de prise en charge réelle. En particulier, comment constituer à long terme une base de données permettant de suivre les évolutions des sols ?

Nous insisterons sur quatre points majeurs de ces soixante-quinze ans de relations entre politiques publiques et agronomie, et de leurs enjeux pour demain.

Un rapport au temps difficilement compatible

La gestion du temps est délicate dans ces relations politiques publiques-agronomie :
– les agronomes sont souvent convoqués pour traiter les problèmes quand ils sont survenus (pollution des eaux par les résidus phytosanitaires, érosion des sols, etc.). Or les latences des phénomènes (changement des assolements, des itinéraires techniques, des successions de culture ; inertie des milieux : aquifères, sols) repoussent souvent fort tardivement les effets des changements des politiques publiques. Ce point crée de nombreuses tensions sociétales, comme les diverses conséquences liées aux produits phytosanitaires le montrent ;
– une très grande latence est constatée entre les résultats de recherche et la traduction dans les politiques publiques (l'atrazine est identifiée de façon prégnante dans les eaux de drainage agricole en 1974 et son interdiction d'usage intervient en 2003).

Nous proposons à l'avenir que les agronomes s'insèrent de façon plus dynamique dans le cycle de déploiement d'une politique publique. Ce cycle (mise à l'agenda, formulation des politiques, prise de décision, mise en œuvre et évaluation des politiques, figure 9.1) présente une dynamique propre (Howlett et Ramesh, 2003, *in* Savard, 2012). Nous devons nous interroger sur la place de l'agronomie en sa qualité de science susceptible de contribuer aux différentes étapes d'un cycle en produisant identification de questions, compréhension, supports de solutions et de leur évaluation dont les politiques publiques s'empareront (ou pas). La connaissance de ces diverses étapes est essentielle à prendre en compte par les agronomes pour positionner efficacement une gamme de produits de l'agronomie lors de ces phases successives d'une politique publique.

Cependant, le rapport au temps des acteurs des politiques publiques et des agronomes est fort différent. D'une part, les politiques publiques structurent le temps et le « coupent » en fixant seules les dates de leurs révisions et les phases de leurs mises en œuvre, alors que, de leur côté, les acquisitions de connaissances et compétences en agronomie sont beaucoup plus liées à ses propres rythmes : campagnes de mesure,

durée des thèses, etc. D'autre part, parfois les politiques publiques ont anticipé la recherche agronomique, par exemple avec la demande des cartes de potentialités des sols au 1/10 000 par la SAFE, alors que la directive Sols ne fut proposée que 47 ans plus tard ; parfois elles sont très en retard : il s'écoule 19 ans entre le rapport Hénin sur la pollution par les nitrates et l'élaboration de la Directive-cadre sur l'eau.

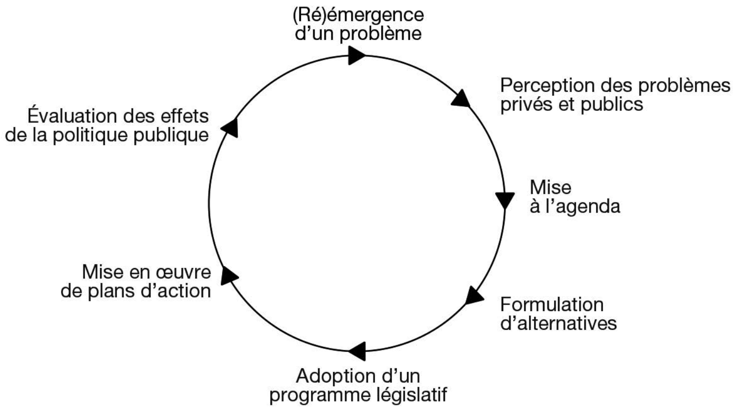


Figure 9.1. Les étapes du cycle de déploiement d'une politique publique.

La compatibilité de politiques publiques plurielles : un enjeu délicat pour les agronomes

Les agronomes, comme tous les citoyens, vivent professionnellement autant de politiques publiques que les décideurs publics locaux, nationaux, européens et internationaux construisent d'enjeux structurant l'agenda politique. Les politiques publiques concernant le secteur de l'agriculture sont multiples, puisque cette activité concerne de très nombreux aspects de la collectivité comme la sécurité nationale, la santé, l'environnement, l'économie, les équilibres sociaux, l'occupation du territoire ou l'éthique. Ces enjeux généraux sont eux-mêmes déclinés en multiples politiques sectorielles plus techniques.

Cette compartimentation des politiques publiques, leur multiplication allant à l'hyperréglementation, créent pour l'agronomie des difficultés tant de déclinaison locale des fonctionnements génériques des couverts végétaux que de contradictions dans le choix et la conduite des systèmes de culture. Une agronomie des systèmes complexes (systèmes de culture, systèmes de production, système agraire, système alimentaire) devra continuer de se donner les moyens d'instruire ces interactions.

De plus, les politiques publiques sectorielles traitent d'enjeux parfois antagonistes vis-à-vis des solutions requises. L'intégration devrait être le mot d'ordre ! L'agronomie, telle qu'elle a évolué en France, a l'habitude des systèmes complexes, des interactions entre leviers d'action, et devrait y contribuer – voir en exemple la construction d'indicateurs et d'outils d'évaluation multicritère d'une part (chapitre 2), et la hiérarchisation des problèmes à résoudre selon les échelles prises en charge (parcelle, bassin-versant, commune, région agricole, etc.) (chapitre 3) d'autre part. Nous pensons que l'agronomie doit éclairer les liens potentiels entre ces politiques et leurs objectifs disjoints *via* une évaluation multicritère de types de systèmes de production.

La pluralité des politiques publiques et des acteurs

L'État n'est pas le seul acteur des politiques publiques, tant pour leur définition que pour leur mise en œuvre : administrations, associations, autres autorités publiques (l'Europe en particulier, mais aussi les collectivités territoriales et les régions) sont de plus en plus présentes dans le débat public, dès l'identification des problèmes et des enjeux, mais aussi comme acteurs des plans d'action. Ainsi, « si l'autorité publique est présumée jouer un rôle central, elle est loin d'agir seule. Elle voit intervenir des tiers […] qui ont leurs propres logiques ou priorités, qui se comportent comme des acteurs disposant d'autonomie et dont l'intervention perturbe ou infléchit le cours des choses » (Thoenig, 2010). L'élaboration d'une politique publique devrait résulter d'un dialogue entre ces acteurs, éclairé par des outils de diagnostic et d'évaluation reconnus, incluant les processus agronomiques et instruits avec le concours d'agronomes.

Le rapport des normes juridiques aux connaissances scientifiques

Une constante apparaît depuis 1980, le besoin d'appui scientifique de la part des pouvoirs publics pour aborder les questions très complexes, car multifactorielles et maintenant multi-enjeux concernant la durabilité de l'agriculture, à la fois générique et dans les territoires. Leur intérêt pour associer les agronomes est d'autant plus grand que les discussions directes entre toutes les parties prenantes et les décideurs publics, en vue de construire des propositions techniques de solution, se complexifient… et se médiatisent souvent fortement (le barrage de Sivens et l'irrigation agricole, les produits phytosanitaires et les zones non traitées, etc.). Cet intérêt est particulièrement net pour la consolidation de normes de nombreux textes de politiques publiques. Commence alors une mise en relation entre pouvoirs publics et agronomes avec le Corpen, malheureusement trop rapidement supprimé, qui se poursuit avec les ESCo, les GREN, le Genem, etc. Ces étapes marquent un apprentissage réciproque de la fonction d'expertise scientifique au service de la définition des politiques publiques, clairement provoqué par la montée en puissance des enjeux environnementaux.

Progressivement, la stimulation des questions portées par les politiques publiques induit auprès des milieux scientifiques une production nouvelle : élargissement des questions abordées, modélisations opérationnelles, y compris spatialisées, concept d'indicateur et mise au point d'indicateurs utilisables par les acteurs, relations chercheurs-parties prenantes générant précision sur les concepts et les savoir-faire à mobiliser (coconception, coconstruction), en particulier parce qu'il faut tenter de traiter simultanément de nombreux enjeux (et l'azote, et les phytosanitaires, et le changement climatique, et l'érosion, etc.). Mais nous observons une lenteur, voire une défiance, des pouvoirs publics à mobiliser ces opportunités d'animation et de réflexion avec les parties prenantes (par exemple, animer une prospective utilisant la modélisation spatialisée des ruissellements sur un territoire pour déterminer la largeur des bandes enherbées le long de cours d'eau). Ici, la norme juridique, par exemple le choix des largeurs des bandes enherbées le long des cours d'eau, s'impose comme une résultante de complexes négociations sociales, plus que d'une prise en compte directe d'une revue de littérature scientifique !

Ainsi, nous pouvons affirmer que les relations entre agronomie et politiques publiques sont réciproques : quelques politiques publiques ont été générées par des agronomes qui se manifestent auprès des décideurs en maîtrisant la matière de futures normes et, inversement et massivement, de nombreuses politiques publiques ont influencé des travaux en agronomie, avec le plus souvent des approches normées qui doivent ensuite être prises en charge par les agronomes. Les interactions sont pourtant fortes, en créant des relations qui ont modifié la valorisation des connaissances, avec deux postures possibles pour les agronomes : être moteurs de politiques publiques, en ayant été impliqués, ou en subir les conséquences, et être en situation de dépendance. Mais dans cette réciprocité, le partage de l'élaboration des normes devrait remonter dans l'agenda des politistes et des agronomes.

Conclusion : avec, pour ou malgré tout ?

Les récits des trois histoires, azote, sols et aménagement, protection des plantes, illustrent différents modes d'interaction, résumés abruptement et respectivement par « avec – pour – malgré tout ». Toutefois, pour dépasser le risque d'une simple instrumentalisation de l'agronomie par les pouvoirs publics, nous proposons de poursuivre la réflexion dans quatre directions :

– développer une réflexion interprofessionnelle, entre tous les métiers d'agronomes, telle que vécue au sein de l'Association française d'agronomie, pour traiter de la question centrale des relations entre les normes mobilisées dans les politiques publiques et les résultats, méthodes et pratiques de l'agronomie. Ces relations constituent un énorme défi, en particulier celui de la généralité juridique face à la diversité des situations agronomiques !

– initier une réflexion sur le maillage territorial des politiques publiques concernant l'agriculture. Les agronomes ont souvent rencontré la difficulté de décliner une politique publique sur chaque territoire, trop exclusivement conduite à l'échelle de chaque département, entité éminemment politique, et non, *a minima*, de chaque petite région agricole, ou au mieux de maillages ayant sens pour les agronomes ;

– étudier plus avant les tensions entre politiques publiques environnementales (protection des ressources en eau, de la biodiversité, et adaptation/atténuation au changement climatique) et politiques publiques des filières, et celles entre politiques quantitatives (quotas de production, etc.) et qualitatives (normes de qualité, affichage des qualités des produits, etc.) ;

– expliciter clairement, à chaque occasion où des agronomes sont mobilisés pour participer à l'élaboration de politiques publiques, leurs apports, si possible en les rattachant aux diverses phases de déploiement de cette politique publique, voire afficher leur refus de cautionner des arguments non fondés. Ici, les synthèses de littérature sont indispensables.

À l'avenir, pour faciliter la reconnaissance des apports possibles de l'agronomie auprès des « autorités investies de puissance publique », il est nécessaire d'initier un débat sur les postures de l'agronome en situation d'interaction avec celles-ci. Nous devrions partager des repères et des pratiques professionnelles permettant d'interagir en toute lucidité et en bonne compréhension mutuelle avec elles.

Encadré 9.4. L'agronomie dans le plan Écophyto

Jean Boiffin

Le « plan Écophyto » est un programme gouvernemental visant à promouvoir la réduction des usages – agricoles et autres – des produits phytopharmaceutiques. Son lancement date de fin 2008, sous l'appellation initiale « Écophyto 2018 ». Suite aux six premières années de mise en œuvre (« Écophyto 1 »), il a fait l'objet d'un rapport parlementaire (Potier, 2014) débouchant sur une révision (« Écophyto 2 »), dont le terme affiché est désormais 2025.

■ Intermède fugace ou tournant des politiques publiques en matière phytosanitaire ?

Le plan Écophyto a son origine dans le Grenelle de l'environnement, vaste réflexion collective et participative entreprise en 2007 sous la présidence Sarkozy. Cette dynamique s'enclenche à la faveur d'une conjoncture politique pro-environnementaliste. Parmi les six axes de travail, l'un d'entre eux porte sur la préservation de la biodiversité et des ressources naturelles, et c'est dans ce cadre que sont principalement traités les problèmes agricoles. Il débouche sur un engagement inédit de réduction massive et rapide d'usage des pesticides : moins 50 % en dix ans, c'est-à-dire à horizon 2018. Guy Paillotin, ex-président de l'Inra, très respecté dans les milieux aussi bien agricoles que scientifiques, préside la commission chargée de traduire cet engagement en plan d'action. Bon gré mal gré, les organisations agricoles, l'agrofourniture et l'industrie phytosanitaire acceptent d'y participer à côté des ONG environnementalistes et de cautionner le plan, à condition que figure dans son intitulé le fameux « si possible », qui correspond d'ailleurs au caractère non contraignant de la plupart des dispositions adoptées. Le plan est copiloté par les ministères en charge de l'Environnement et de l'Agriculture, mais la maîtrise d'œuvre est confiée à ce dernier, et centralisée à la Direction générale de l'alimentation (DGAL).

L'architecture du plan traduit à la fois le parti pris incitatif et le souci d'exhaustivité qui ont présidé à son élaboration. Dans sa première phase, il comporte 114 actions regroupées en 9 axes, respectivement dédiés aux indicateurs, à la mise au point et à la diffusion des voies de réduction, à la recherche, à la formation, à la surveillance des bioagresseurs et aux effets non intentionnels, aux Dom-Tom, aux usages en zones non agricoles (ZNA), à la communication, et aux impacts sur la santé.

Dans le cadre d'Écophyto 2, le contenu de ces axes et actions sera redistribué et réactualisé, sans remise en cause des orientations et du contenu des actions majeures, si ce n'est le report à 2025 de l'échéance initiale de réduction, dont le montant de 50 % est maintenu.

La gouvernance et le financement du plan sont calqués sur cette structure pyramidale : chaque niveau (action, axe, plan) est doté d'un double système de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre, constitué selon le principe « grenellien » du « dialogue à cinq » impliquant à égalité de représentation pouvoirs publics (y compris recherche et enseignement), collectivités, ONG environnementalistes ou consuméristes, syndicats de travailleurs, organisations patronales et économiques. Transposé au « monde agricole », qui implique la représentation d'une multitude d'organismes professionnels, ce principe aboutit à une comitologie complexe, qui ne peut fonctionner que si la maîtrise d'œuvre du plan est extrêmement dynamique. Elle dispose d'un atout important et durable : une grande partie du financement (autour de 40 millions d'euros par an dans la phase 1) est assurée par une redevance perçue sur les ventes de produits phytosanitaires, à laquelle s'ajoute une part d'autofinancement par les multiples organismes publics ou professionnels en charge des diverses actions.

Le plan Écophyto a aussi un double arrière-plan européen, car il est concomitant d'une part de la Directive-cadre 2009/128 sur l'utilisation durable des pesticides, d'autre part d'une nième révision de la PAC en 2015. Dans le premier cas, c'est la DGAL qui est à la manœuvre et assure la coordination : le plan Écophyto constituera officiellement la version française du plan national de mise en œuvre de la directive. Mais cette dernière ne comportant aucune obligation de réduction, la France est « en pointe » par rapport à ses compétiteurs européens, notamment l'Allemagne, qui privilégie la réduction des impacts. Les dirigeants des grandes filières végétales ont alors beau jeu de se plaindre qu'à travers le plan Écophyto la France s'inflige une « autodistorsion » de concurrence. Dans le cas de la PAC, la négociation est menée par d'autres acteurs que la DGAL, avec des objectifs très éloignés de l'agroécologie qui n'est pas encore un slogan officiel. La « nouvelle PAC » ne favorisera qu'à la marge les orientations environnementales, à travers un « 2e pilier » encore complexe et peu influent. Elle confortera les mécanismes de rémunération de l'activité agricole qui induisent spécialisation des assolements et utilisation intensive des intrants, notamment phytosanitaires.

Dès lors, l'« échec du plan » est-il imputable au plan lui-même ? Ce dernier ne comportait par construction ni contrainte réglementaire ni mesure économique de nature à changer la hiérarchie des marges brutes entre les cultures, et les niveaux d'optimisation de l'usage des intrants. La non-réduction apparaît plutôt comme le résultat programmé des contradictions internes aux politiques publiques en matière agro-environnementale : en 2020, pour s'engager dans la réduction des pesticides, un exploitant de grande culture, d'arboriculture ou de viticulture doit vraiment avoir l'esprit pionnier. L'agriculture biologique est l'exception qui confirme la règle : c'est dans un cadre à la fois techniquement contraint et économiquement protégé par le signe de qualité qu'elle peut mettre en œuvre des systèmes radicalement économes en pesticides. Si on met de côté la naïveté de l'affichage initial, le véritable objectif du plan était de construire un cadre de conditions – non suffisantes, mais nécessaires – de la réduction d'usage, à travers une palette de mesures d'accompagnement sans lesquelles la réduction n'aurait sans doute pas pu avoir lieu, même dans un contexte économique favorable. Le dispositif Certiphyto, le panel d'indicateurs d'usage et d'impact, la rénovation des systèmes d'avertissement, les systèmes économes et performants mis au point au sein du dispositif Dephy, l'amplification des recherches sur la protection intégrée sous toutes ses formes, l'évolution de l'enseignement relatif à la santé des plantes, la réduction obtenue dans les ZNA, ne sont-ils pas des succès à mettre à l'actif du plan ? Finalement, ce dernier peut aussi être vu comme le signal donné par l'État d'un tournant inéluctable, vis-à-vis duquel les tergiversations relatives au glyphosate et aux néonicotinoïdes sont des péripéties d'arrière-garde.

■ L'agronomie dans le plan Écophyto : un piège ou une rampe de lancement ?

L'agronomie est, rappelons-le, quasiment absente de ce qui constituait, avant le plan Écophyto, le principal champ d'action des politiques publiques en matière de santé des plantes : l'homologation des substances et produits phytopharmaceutiques. Dès lors que la réduction massive des usages à la source (et non des seuls impacts en aval des applications) devient un objectif incontournable, la problématique ne se limite plus au produit, et s'élargit à l'ensemble du système de culture : la notion de protection intégrée fait appel à l'agronomie. Ce réinvestissement se fait d'abord au niveau de la recherche (chapitres 1, 3, 4 et 6), et dans le champ des politiques publiques il se traduit par la contribution des agronomes à l'ESCo de 2005 (Aubertot *et al.*, 2005). Mais c'est dans le cadre du plan Écophyto que ce retour est officialisé, prend une dimension opérationnelle et s'étend aux sphères de recherche-développement et développement. Il prend sa source dans l'étude préliminaire Écophyto R&D (Butault *et al.*, 2010), engagée en

Encadré 9.4. L'agronomie dans le plan Écophyto (suite)

2005 par l'Inra à la demande des pouvoirs publics, où les agronomes jouent un rôle de premier plan. Cette étude montre qu'une réduction de 50 % n'est pas atteignable si on se limite à l'amélioration d'efficience des applications de pesticides ou à leur substitution par des techniques alternatives, et implique une reconception des itinéraires techniques et systèmes de culture. Elle propose les grandes lignes du réseau Dephy, destiné à mettre au point et à tester « en vraie grandeur » les différentes solutions de réduction d'usage.

Plusieurs actions-clés du plan – au premier rang desquelles Dephy, mais aussi le dispositif Certiphyto, les actions relatives à l'enseignement, les projets de recherche, le *Bulletin de santé du végétal* et bien d'autres – font appel à des compétences en agronomie. Cette extension inédite du champ d'intervention de l'agronomie dans le cadre du plan ne se fait pas sans difficulté, et les agronomes découvrent que leurs concepts-clés, notamment ceux d'itinéraire technique ou de système de culture, sont loin d'être unanimement compris et partagés. Dans le cas de Dephy, ce n'est qu'après plusieurs années de tâtonnement dans le recueil des données, suivies de laborieuses discussions au sein des instances de pilotage, que sera reconnue l'utilité de ces concepts pour délimiter les entités d'observation et d'analyse de la santé des cultures, et pour définir des stratégies de réduction d'usage. Cinq ans après le démarrage effectif de ces actions, ces notions ont non seulement prouvé leur pertinence, mais aussi fait l'objet d'avancées qu'il aurait été impossible de réaliser dans un autre contexte, comme la mise en œuvre à grande échelle de l'expérimentation-système, la création d'une base de données sur les systèmes de culture, et la mise en évidence de marges de réduction importantes et économiquement non pénalisantes, liées aux successions de cultures et aux itinéraires techniques (Lefèvre et Munier-Jolain, 2016).

Du fait même de cette reconnaissance inédite, l'agronomie n'est-elle pas impliquée, voire discréditée dans l'« échec du plan » ? La question mérite d'être posée sans complaisance : après des années de désinvestissement, elle n'avait sans doute pas encore le bagage nécessaire pour assurer au rythme voulu la reconception des systèmes de culture, en particulier sur l'impact épidémiologique des pratiques culturales. Mais de multiples indices montrent qu'au contraire l'expérimentation « en vraie grandeur » qu'a constitué le plan Écophyto a à la fois amplifié et légitimé le réinvestissement de l'agronomie dans la gestion de la santé des plantes. Le plus significatif est sans doute la place bien plus importante dévolue aux thèmes et aux compétences relevant de l'agronomie dans les projets de recherche et de développement relatifs à la santé des plantes et orientés vers la réduction d'emploi des pesticides. À l'intérieur comme à l'extérieur du plan, les appels à projets, demandes d'expertise et financements sur ce domaine se sont multipliés, exerçant sur l'agronomie une force d'appel considérablement accrue par rapport à l'époque du Grenelle de l'environnement.

Un jour viendra où les politiques européennes relatives à l'agriculture, à l'homologation des pesticides, à la conditionnalité des échanges commerciaux, donneront enfin à la réduction, voire à l'abandon des pesticides, un caractère économiquement avantageux, et non réservé à certains segments de marché tels que l'AB. Les connaissances et références accumulées, dans le cadre ou à la suite d'Écophyto, sur les liens entre systèmes de culture et gestion de la santé des plantes feront alors l'objet d'une valorisation intense, et contribueront au « déverrouillage » de l'innovation agricole. Il se confirmera alors que, malgré son insuccès, Écophyto a été pour l'agronomie un incubateur d'innovation agroécologique.

⏩ Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Classées chronologiquement, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer le parcours évoqué dans le chapitre. Pour une vue d'ensemble de ces repères, voir en fin d'ouvrage.

Gervais M., Jollivet M., Tavernier Y. (Duby G., Wallon A., dir.), 1976. *Histoire de la France rurale, volume 4 : La fin de la France paysanne*. Éditions du Seuil, Paris, 666 p.

Rémy J.-C., Hébert J., 1977. Le devenir des engrais azotés dans le sol. *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 700-710.

Hénin S., 1980a. Rapport du groupe de travail « Activités agricoles et qualité des eaux ». Ministère de l'Agriculture, ministère de l'Environnement, Paris.

Roqueplo P., 1997. *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique*. Éditions Quæ, Versailles, 112 p.

Boiffin J., Stengel P., 2000. Réapprendre le sol : nouvel enjeu pour l'agriculture et l'espace rural. *Demeter*, 147-212.

Arrouays D., Hardy R., Schnebelen N., Le Bas C., Eimberck M., Roque J., Grolleau E., Doux J., Lehmann S., Saby N., King D., Jamagne M., Rat D., Stengel P., 2004. Le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols de France. *Étude et Gestion des sols*, 11 (3), 187-197.

Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (éds), 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, Inra et Cemagref (France), 64 p.

Tamian L., 2008. Genèse du Rapport Hénin et émergence de la préoccupation environnementale dans la pensée agronomique française. Université Lumière Lyon 2 et Inra, 141 p.

Philippe M.A., Polombo N., 2009. Soixante années de remembrement : essai de bilan critique de l'aménagement foncier en France. *Études foncières*, 140, 43-49.

Barreteau O., Bousquet F., Étienne M., Souchère V., D'Aquino P., 2010. La modélisation d'accompagnement : une méthode de recherche participative et adaptative. *In* : *La Modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable* (Étienne M., coord.). Éditions Quæ, Versailles, 21-46.

Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude, Inra Éditeur (France), 90 p.

Parnaudeau V., Reau R., Dubrulle P., 2012. Un outil d'évaluation des fuites d'azote vers l'environnement à l'échelle du système de culture : le logiciel Syst'N. *Innovations agronomiques*, 21, 59-70.

Savard J.-F. (avec la collaboration de R. Banville), 2012. Cycles politiques. *In* : *Le Dictionnaire encyclopédique de l'administration publique* [en ligne] (Côté L., Savard J.-F., dir.). www.dictionnaire.enap.ca

GT azote du Comifer, 2013. *Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales, cultures annuelles et prairies*. Comifer, 159 p.

Potier D., 2014. Pesticides et agro-écologie. Rapport de Dominique Potier, député de Meurthe-et-Moselle, au Premier ministre Manuel Valls, Eco'phyto, 252 p.

Bellec P., Lavarde P., Lefebvre L., Madignier M.-L., 2015. *Propositions pour un cadre national de gestion durable des sols*. CGAAER/CGEDD, 138 p.

Courtoux A., Claveirole C., 2015. *La bonne gestion des sols agricoles : un enjeu de société*. CESE, 66 p.

Cornu P., Valceschini E., Maeght-Bournay O., 2018. *L'Histoire de l'Inra, entre science et politique*. Éditions Quæ, Versailles, 463 p.

Fournil J., Kon Kam King J., Granjou C., Cécillon L., 2018. Le sol : enquête sur les mécanismes de (non) émergence d'un problème public environnemental. *VertigO*, 18 (2). http://journals.openedition.org/vertigo/20433

Muller P., 2018. *Les Politiques publiques*. Presses universitaires de France/Humensis, Paris, 126 p.

Fosse J., Aussilloux V., Grémillet A., Mesqui B., 2019. *Faire de la politique agricole commune un levier de la transition écologique*. France Stratégie, 106 p.

Jeuffroy M.-H., Ravier C., Lenoir A., Meynard J.-M., 2020. APPI-N : une nouvelle approche pour le raisonnement de la fertilisation azotée du blé. *Agronomie, environnement & sociétés*, 9 (1).

Laroche B., Degan F., Koller R., Scheurer O., Bouthier A., Moulin J., Sauter J., Ducommun C., Fort J.L., Maillant S., Party J.P., Renouard C., Saby N.P.A., Bertouy B., 2020. Typterres : vers une typologie agronomique partagée. *Étude et Gestion des sols*, 27, 241-255

Conseil d'État, 2021. Pesticides : le Conseil d'État ordonne que les règles d'utilisation soient complétées pour mieux protéger la population, 26 juillet 2021. https://www.conseil-etat.fr/actualites/actualites/pesticides-le-conseil-d-etat-ordonne-que-les-regles-d-utilisation-soient-completees-pour-mieux-proteger-la-population

Conclusion générale

L'agronomie, une construction à poursuivre

Jean Boiffin, Thierry Doré, François Kockmann,
François Papy, Philippe Prévost

Aujourd'hui en France, l'agronomie est enseignée à des milliers d'élèves, d'étudiants ou de professionnels en activité. Pour un certain nombre d'entre eux, elle constitue la base de leur spécialisation de fin d'études et de leur compétence professionnelle. Le terme « agronomie » est utilisé pour spécifier de multiples profils de recrutement, au sein de secteurs d'emploi très variés (recherche, enseignement, développement, agrofourniture, industries agricoles et alimentaires, etc.) qui ont en commun d'avoir trait à la production végétale et à ses relations avec l'environnement et l'alimentation. La mention « agronomie » est aussi l'identifiant majeur de thèses ou de mémoires de master, de revues scientifiques et de sociétés savantes internationales, et, depuis 2008, d'une association interprofessionnelle nationale, l'Association française d'agronomie (AFA). Ainsi l'agronomie, au sens restreint précisé en introduction de cet ouvrage, a tous les attributs d'une discipline scientifique et technique, même si la polysémie du terme – sens restreint *vs* sens large – continue à susciter quelques ambiguïtés.

Par comparaison, si on se reporte soixante-quinze ans en arrière, au sortir de la Seconde Guerre mondiale, la situation de l'agronomie pouvait être qualifiée d'embryonnaire. Certes, des germes étaient déjà présents, parmi lesquels on peut discerner *a posteriori* les fondements de l'agronomie d'aujourd'hui. Il n'empêche que cette situation aurait pu préfigurer des destinées bien différentes : demeurer, par exemple, un domaine d'application de la science du sol, ou un prolongement technique de l'amélioration des plantes. En un laps de temps assez court au regard de l'histoire des sciences, c'est au contraire un parcours d'autonomisation et de développement qui a eu lieu. L'objectif de cet ouvrage était de décrire ce parcours et d'en proposer une première analyse agronomique : comment les agronomes sont-ils parvenus à appréhender le champ cultivé comme un agroécosystème, à comprendre et à prévoir de mieux en mieux son fonctionnement et ses effets environnementaux, à mieux comprendre les déterminants des systèmes de culture, à contribuer à leur adaptation ou à leur reconception, et, chemin faisant, à accompagner de façon plus pertinente un éventail de plus en plus large d'acteurs divers dans leur prise de décision ? Sans prétendre écrire l'histoire de l'agronomie, nous souhaitions ainsi transmettre aux historiens des sciences et de l'agriculture un matériau aussi élaboré que possible. Pour cela, nous avons croisé de multiples points de vue et réuni des témoignages variés, en provenance des différents secteurs professionnels qui ont joué un rôle particulièrement actif dans cette fabrique de l'agronomie.

Parvenus au terme de cette entreprise, il nous semble tout d'abord nécessaire de prendre du recul par rapport à cette diversité de récits, parcourue au fil des chapitres, et d'en dégager quelques lignes de force, en identifiant les processus qui ont été les moteurs principaux de la construction de la discipline. Mais nous souhaitons aussi que cette analyse rétrospective soit utile aux agronomes d'aujourd'hui et de demain, pour faire évoluer leurs métiers, étendre et renforcer leurs compétences, et affronter les défis du futur. Faut-il engager un nouveau cycle de développement de l'agronomie, et pour cela relancer, rénover, voire réinventer la fabrique ? C'est cette réflexion prospective que nous tenterons d'amorcer dans un deuxième temps, avant d'esquisser quelques pistes de travail.

⏩ La fabrique de l'agronomie, une dynamique scientifique et sociale

Développement et autonomisation d'une discipline

Dans la première partie de l'ouvrage, nous avons vu que quatre principaux traits ont caractérisé le développement de l'agronomie :
– une considérable extension thématique, s'accompagnant de l'appropriation ou de la production de nouveaux concepts. Déjà manifeste à travers le développement de l'écophysiologie végétale et de l'étude des techniques culturales au cours des décennies 1970-1980, cette tendance a changé de dimension avec l'irruption des questions environnementales, qui n'ont plus cessé d'élargir l'éventail des sujets abordés ;
– une diversification et un renforcement méthodologiques non moins importants, qui ont été à la fois cause et effet de la tendance précédente. À partir du milieu des années 1970, l'approche systémique et le développement de la modélisation ont été des courants majeurs qui ont permis à l'agronomie d'assumer la complexité croissante de ses objets ;
– l'élargissement de la gamme des échelles et des niveaux d'organisation appréhendés, qui s'applique aussi bien aux systèmes de production ou de gestion qu'aux entités fonctionnelles à considérer pour les thématiques environnementales. Cet élargissement s'est opéré à la fois dans le sens d'une dissection plus fine des objets d'étude et d'un accroissement de la complexité et de l'étendue des entités organisationnelles ou spatiales étudiées ;
– une évolution des modes d'interaction entre agronomes et agriculteurs, et par suite des démarches mises en œuvre en agronomie, dans le sens d'un rééquilibrage des responsabilités et des initiatives vis-à-vis des adaptations et des changements des pratiques : l'accompagnement prime désormais sur la prescription normative. Cette évolution s'exprime pleinement à travers la diversification des régimes d'innovation, et en particulier le développement de régimes d'innovation ouverte, qui accroît la capacité de l'agronomie à faire émerger et à soutenir des innovations de rupture. Elle s'est fortement accentuée dès lors que les finalités environnementales ont été prises en compte, et qu'il a fallu dialoguer avec d'autres acteurs que les seuls agriculteurs.

Une des conditions qui ont permis ces avancées a été l'ouverture croissante de l'agronomie aux autres disciplines, se concrétisant par des coopérations interdisciplinaires de plus en plus diversifiées, et par l'implication de plus en plus fréquente des agronomes dans des projets transdisciplinaires et participatifs. Ces interactions ont favorisé le très

fort courant d'importation de connaissances et de méthodes qui a fourni une grande part des matériaux à partir desquels s'est construite la discipline.

Ayant été aussi fortement importatrice, comment l'agronomie a-t-elle pu s'identifier et affirmer son autonomie ? Les deux premiers chapitres fournissent un premier élément de réponse : certains concepts-clés, et certaines catégories de méthodes, sont d'origine principalement endogène. Ainsi, les concepts d'itinéraire technique et de système de culture permettent aux agronomes d'apporter une contribution spécifique et cruciale non seulement à l'analyse du fonctionnement des agroécosystèmes, mais aussi à celle du fonctionnement des systèmes de production et du comportement des agriculteurs. Dans le domaine des méthodes, un exemple caractéristique de production endogène est l'évaluation multicritère appliquée à la production végétale. Même si les procédures formelles d'évaluation multicritère sont bien antérieures et clairement exogènes, l'intégration en amont de modules caractérisant les systèmes de culture, et en aval de modules d'évaluation portant sur une large gamme de critères agro-environnementaux, est à mettre à l'actif des agronomes.

Paradoxalement, un deuxième facteur d'autonomisation de l'agronomie réside précisément dans l'étendue et la diversité des importations disciplinaires. Puisant dans la physiologie végétale, la science du sol, la bioclimatologie, l'écologie fonctionnelle, elle emprunte aussi au machinisme, à l'ergonomie, aux sciences de gestion, à la sociologie, etc. L'originalité vient de ce qu'elle associe ainsi des connaissances sur des processus naturels liés à la production végétale à des connaissances portant sur les logiques de décision et d'action. C'est précisément cette combinaison qui justifie le suffixe -nomie plutôt que -logie ou -technie.

Enfin, tous ces éléments, exogènes comme endogènes, ont été intégrés dans un corpus unifié et structuré, en reliant des domaines thématiques jusque-là isolés les uns des autres. Ainsi a-t-on fait apparaître de nouvelles continuités dans les connaissances, notamment en caractérisant les impacts écologiques des interventions culturales, en explicitant la façon dont ces dernières découlent de règles de décision, et en analysant comment ces règles sont elles-mêmes en partie déterminées par les caractéristiques des systèmes de production, et plus globalement des systèmes sociotechniques dans lesquels sont insérées les exploitations agricoles. On peut d'ailleurs noter que les concepts et les paradigmes proprement agronomiques, tels que le profil cultural, l'élaboration du rendement, l'assolement, la succession, l'itinéraire technique, le système de culture – et plus globalement le refus de la relation directe technique-rendement ou du jugement de valeur normatif sur le comportement de l'agriculteur –, permettent de connecter des objets et champs thématiques qui au départ étaient juxtaposés et disjoints. Cette maturité intégrative est bien illustrée par les divers types de « grands » modèles de fonctionnement des agroécosystèmes évoqués dans le chapitre 2. Ils établissent une continuité entre les processus de décision de l'agriculteur et de multiples variables résultant du fonctionnement des agroécosystèmes, incluant à la fois les performances technico-économiques et des impacts environnementaux de natures très diverses.

Le statut de discipline à part entière, reposant sur un ensemble de connaissances et de méthodes spécifique dans sa composition et sa structuration, est apparu concomitant et corollaire d'autres signes d'unification et d'épanouissement, survenus de façon progressive à partir des années 1980, et avec une accélération notable à la fin des années 1990 :

Relance agronomique au sein du système de développement agricole, dissémination et homogénéisation de l'agronomie dans l'enseignement supérieur, diffusion dans l'enseignement technique, convergence des systèmes de recherche métropolitain et tropical, recours massif et inédit à l'agronomie pour l'aide à la décision publique à travers les expertises et études collectives, etc. Le dernier signe en date est la création d'une association interprofessionnelle dédiée, qui témoigne du fait que les agronomes de différents métiers se reconnaissent en tant que « communauté ». Ainsi, la fabrique de l'agronomie comme discipline scientifique et technique résulte non seulement d'une maturation conceptuelle et méthodologique, mais aussi d'une convergence sociale. Se construisant d'abord de façon plus ou moins fragmentaire et dispersée, l'agronomie a en quelque sorte « cristallisé » au tournant des XXe et XXIe siècles.

Une histoire d'interactions

La deuxième partie de l'ouvrage atteste qu'aucune catégorie d'institutions ou de groupes socioprofessionnels n'a eu le monopole du pilotage de la fabrique de l'agronomie, si ce n'est à des moments particuliers et par l'intermédiaire de personnalités marquantes qui ont alors joué un rôle-clé. Sur la longue durée, l'agronomie s'est construite dans des jeux d'interactions, et inversement son développement a souvent été entravé par le cloisonnement, l'éloignement, voire les tensions entre ces différents types d'acteurs.

La synergie entre recherche et enseignement supérieur agronomique a été le creuset de la fabrique. C'est la recherche agronomique qui a produit la plus grande partie des matériaux de construction, et c'est principalement à elle qu'est imputable l'extension thématique et méthodologique qui constitue un des traits majeurs de l'évolution de l'agronomie. Ainsi, avant de devenir un champ thématique essentiel sur lequel prennent appui toutes les compétences professionnelles d'agronome, l'écophysiologie végétale a d'abord été, à partir du début des années 1980, un front de recherche. De façon encore plus emblématique, le tournant environnemental qu'a opéré l'agronomie – et qu'*a posteriori* on peut considérer comme régénérateur, si ce n'est salvateur – a été pris au sein de l'Inra, en avance sur tous les autres « ateliers de la fabrique », quasiment sous contrainte de l'institution et sous la pression des communautés scientifiques du milieu physique et de l'écologie fonctionnelle, qui étaient de ce point de vue en avance sur les agronomes. Plus globalement, la diversification thématique et méthodologique qui caractérise la fabrique de l'agronomie n'a pu avoir lieu que grâce aux échanges et emprunts rendus possibles par la structure pluridisciplinaire des établissements de recherche publique en France. À cet égard, l'intégration de la recherche en agronomie métropolitaine au sein d'instances pluridisciplinaires (les départements Environnement et agronomie et Systèmes agraires et développement de l'Inra) a été déterminante, en privilégiant le rapprochement avec les disciplines du milieu physique d'une part, avec les sciences humaines et sociales d'autre part, plutôt qu'avec une biologie végétale alors polarisée par l'approche moléculaire. De même, c'est la fusion des instituts de filière au sein du Cirad qui a permis à l'agronomie de s'y constituer en discipline et en communauté scientifique, et aux agronomes tropicalistes de s'intégrer à une dynamique globale d'autonomisation et d'écologisation de l'agronomie qui transcende les différences de contexte géographique, en y jouant un rôle moteur. Toutefois, même dans le cadre pluridisciplinaire des établissements de la recherche publique, l'expansion de l'agronomie a été tributaire du cloisonnement plus ou moins

marqué au sein même des institutions. Et, avec le recul, on perçoit le handicap qu'a entraîné l'éloignement vis-à-vis des disciplines biologiques, qui a eu lieu aussi bien au Cirad qu'à l'Inra, notamment en retardant la prise en charge par l'agronomie du choix variétal et de la santé des plantes comme objets d'étude et d'application à part entière.

Cependant, pour construire une discipline, il ne suffit pas de produire et de réunir les connaissances nécessaires. C'est le plus souvent à travers l'enseignement qu'elles sont assemblées, et qu'une discipline prend forme. Pour enseigner l'agronomie, il a fallu présenter de façon ordonnée les connaissances nécessaires, en définissant leur périmètre par rapport à ceux des autres domaines d'enseignement. Aussi n'est-il pas illogique que les seuls ouvrages permettant d'appréhender l'agronomie non seulement dans son ensemble, mais comme discipline distincte, aient été élaborés ou coordonnés par des enseignants, ou par un chercheur de grand renom comme Demolon, précisément lorsqu'ils ont eu à enseigner. Certes, comme on le voit dans la liste des contributeurs à l'ouvrage *L'Agronomie aujourd'hui*, son élaboration a mobilisé de nombreux chercheurs, mais d'une part il s'agit alors de leaders scientifiques capables de synthèse sur de larges domaines, et d'autre part ce sont bien les enseignants-chercheurs qui ont défini la structure de l'ouvrage, et pris en charge la rédaction des chapitres où le cœur du sujet est l'articulation entre connaissance et action. Pour former des ingénieurs spécialisés en agronomie, il faut non seulement ordonner, mais structurer les connaissances, et les mettre en relation avec une problématisation très différente de celle de la recherche, non moins féconde du point de vue heuristique. Les lacunes et questions non résolues apparues dans ce cadre ont particulièrement stimulé l'exploration, puis la progression et l'accomplissement de la composante technologique de l'agronomie. Ce sont des équipes d'enseignants-chercheurs, ou de chercheurs au contact direct – voire issus – de l'enseignement, qui ont été à l'initiative de certaines étapes-clés de la phase de construction-structuration de l'agronomie : appréhension d'autres techniques culturales que la seule fertilisation, mise en forme de plusieurs concepts-clés permettant précisément d'articuler interventions techniques et fonctionnement de l'agroécosystème, dépassement d'une approche prescriptive plus ou moins étriquée au profit des approches de diagnostic-conseil et d'accompagnement. Sans ces apports, l'implication de l'agronomie dans l'évolution des pratiques agricoles aurait été bien plus réduite qu'elle ne l'a été, par exemple en matière de travail du sol ou plus globalement de gestion de la fertilité des sols, ce qui n'empêche d'ailleurs pas de regretter qu'elle n'ait pas eu plus d'impact sur l'innovation technique en production végétale.

Tout en ayant été les moteurs de la fabrique, recherche et enseignement supérieur agronomique n'ont pas joué ce rôle en tête-à-tête. C'est en grande partie en interaction avec le développement agricole que ces groupes d'acteurs ont engendré certaines des avancées les plus marquantes de l'agronomie. À certaines périodes, et tout particulièrement à la jonction entre les deux premières grandes étapes de la fabrique, celles que nous avons qualifiées respectivement d'émergence et de construction, le développement agricole – considéré au sens large, depuis les organismes de recherche appliquée jusqu'aux collectifs de base tels que les CETA et les GVA dans les décennies 1970 et 1980 – a joué un rôle de force d'appel. Ceci non seulement à travers un flux d'embauche important d'ingénieurs spécialisés en agronomie, mais aussi par les sollicitations intenses et multiformes que le développement a exercées auprès des équipes de recherche et d'enseignement supérieur : articles de presse, exposés lors de réunions techniques, visites de terrain, jusqu'à des opérations

de recherche-action de plus ou moins grande ampleur. C'est en réponse à cette force d'appel que la recherche a entamé son déconfinement thématique par rapport à la chimie agricole et à la fertilisation, et que des groupes pionniers de chercheurs et enseignants-chercheurs se sont engagés dans les approches de diagnostic-conseil, puis d'accompagnement, avec toutes les répercussions méthodologiques et thématiques qui en ont résulté. Chemin faisant, il est apparu que l'interaction n'était pas à sens unique, et ne se limitait pas à un effet de mobilisation et de stimulation des chercheurs. Plus fondamentalement, la confrontation entre connaissances scientifiques et problématiques opérationnelles s'est avérée féconde du point de vue heuristique, non seulement en révélant des lacunes de connaissances liées à des domaines ou des sujets ignorés par la recherche, mais aussi en renforçant l'exigence de généralité et d'exhaustivité des connaissances acquises lorsqu'elles doivent être mises en œuvre dans des contextes opérationnels divers. Cette exigence s'est notamment manifestée quand il a fallu établir les multiples référentiels techniques dont était demandeur le développement agricole. D'autres avancées témoignent de l'effet moteur, et même créatif, qu'a eu l'interaction recherche-développement. Cela a notamment été le cas pour la fertilisation raisonnée (tout particulièrement dans le cadre du Comifer et à la suite de l'épisode de la Relance agronomique), pour la simplification des techniques de travail du sol, et plus récemment pour la protection phytosanitaire. Inversement, on constate aussi que lorsque les circonstances ont plutôt favorisé un éloignement entre recherche et développement, l'agronomie n'a pas tardé à être menacée de stérilisation académique, ou de dissolution dans l'écologie. Cela a typiquement été le cas à la charnière entre les décennies 1980 et 1990, lorsque la recherche en agronomie a amorcé son tournant environnemental, au moment même où une grande partie de l'appareil de développement professionnel était encore polarisée vers la standardisation des itinéraires techniques par culture, le contexte économique poussant à un usage croissant des intrants industriels. Il est heureux que cette situation de quasi-crise ait engendré parmi les agronomes une réflexion intense sur les processus d'innovation et la maturation technologique des connaissances issues de la recherche, et ait finalement débouché non seulement sur une rénovation des formes de coopération entre recherche et développement, mais plus globalement sur un renouvellement des régimes d'innovation où est engagée l'agronomie. Ainsi, certaines démarches particulièrement innovantes en matière de santé des plantes ou de biologie des sols résultent d'une interaction étroite entre agronomes de la recherche et collectifs d'agriculteurs, se réclamant souvent de mouvances non conventionnelles comme celle de l'agriculture biologique, longtemps éloignées de la recherche par ignorance, si ce n'est méfiance réciproques.

Dans les chapitres 6 à 9, un troisième type d'interaction motrice est apparu, entre recherche agronomique et pouvoirs publics – ministères ou grandes agences telles que l'Ademe, l'Anses ou les agences de l'eau. Il n'est pas douteux que ce nouveau propulseur a joué un rôle crucial dans la troisième grande étape de développement de l'agronomie, en lui permettant de se tourner vers des enjeux non plus exclusivement agricoles, mais d'intérêt général – environnement, alimentation, gestion de l'espace et même développement territorial. Dans les études et expertises collectives qui concrétisent ce regain d'interaction entre recherche agronomique et pouvoirs publics, c'est une agronomie véritablement multifonctionnelle qui se déploie. On y retrouve les défis stimulants d'exhaustivité et de généricité, portés à leur extrémité dès lors que

ces travaux ne peuvent laisser à l'écart aucune portion de l'espace national, et doivent prendre en compte d'autres catégories d'acteurs et de praticiens que les seuls agriculteurs, donc d'autres types de pratiques et modes de gestion de l'espace que les techniques de production végétale. Pour autant, on voit bien que du point de vue heuristique, les partenariats ne sont pas totalement substituables : l'agriculteur est irrémédiablement un créateur de situations, d'informations, de savoirs empiriques, et un interlocuteur dont l'agronome ne peut se passer s'il veut continuer à faire progresser sa discipline. Si elle restreignait ses ambitions applicatives à l'expertise, sa composante technologique ne tarderait pas à se dévitaliser, par exemple en se restreignant à un ensemble de catalogues, bases de données et autres systèmes d'information géographique, dont l'acteur principal serait finalement expulsé. Et on doit se féliciter que l'aménagement et la gestion de l'espace à des fins agro-environnementales, et plus globalement le développement territorial en zones rurales ou périurbaines, soient aujourd'hui des domaines de coopération renouvelée, entre la recherche en agronomie et la composante territoriale du développement agricole – tout particulièrement, et à nouveau, les chambres d'agriculture.

Une histoire de tensions et d'émancipation, orientée par les politiques publiques

À travers ce réseau et ce jeu d'interactions, l'évolution du contexte socio-économique a influencé la fabrique de l'agronomie en l'orientant vers des finalités différentes au fil du temps : indépendance alimentaire nationale au sortir de la guerre, modernisation de l'agriculture, enjeux environnementaux, d'abord restreints à la protection des ressources puis ne cessant de se diversifier et de s'amplifier jusqu'aux altérations de la planète par le dérèglement climatique, à la perte de biodiversité et au défi démographique, et enfin se conjuguant avec une exigence accrue vis-à-vis de la qualité de l'alimentation et de son impact sur la santé.

Exprimant ces finalités avec un décalage temporel plus ou moins grand, les politiques publiques relatives à l'environnement et à la santé ont commencé à influencer significativement les recherches en agronomie à partir de la fin des années 1970, d'abord de façon circonscrite autour des problèmes de pollution nitrique et de potabilité de l'eau. Par la suite, avec une rupture accélératrice au début des années 1990, cette influence n'a cessé de s'accroître, entraînant l'agronomie dans une spirale d'élargissement des problématiques, et un rééquilibrage des partenariats. Aujourd'hui, les instances en charge de ces politiques, aux niveaux européen, national et territorial, ont pour les agronomes de tous horizons professionnels un statut d'interlocuteur, de financeur et de partenaire d'orientation au moins aussi important que le ministère de l'Agriculture lui-même et les organisations agricoles.

Le fait que recherche et enseignement supérieur agronomiques aient pris naissance, puis aient constamment évolué dans le cadre d'organismes très majoritairement publics, a pour conséquence que la fabrique de l'agronomie a été très fortement tributaire des politiques publiques en matière de recherche et d'enseignement. Les exigences de qualité et de performance académiques en vigueur dans toutes les disciplines, l'exposition aux critiques en provenance des autres disciplines, l'intégration dans les systèmes d'évaluation et de coopération entre recherche et enseignement supérieur ont constitué des défis redoutables, mais salutaires. En s'y confrontant, les agronomes sont

parvenus à hausser le degré de généricité de leur discipline, tout en faisant reconnaître l'originalité de son périmètre thématique. Particulièrement menacée lors de la montée irrésistible de la biologie moléculaire, l'agronomie a pu poursuivre son développement dans le cadre d'organismes finalisés, en y bénéficiant à la fois d'une compréhension et d'une protection qu'elle n'aurait pas trouvées dans les organismes généralistes tels que CNRS et universités, et surtout d'interactions revitalisantes avec les sciences de l'environnement et les sciences humaines et sociales. Le déploiement de l'agronomie dans l'enseignement technique agricole à partir des années 1980 est un autre cas d'influence marquante des politiques publiques. Il comble un fossé, jusqu'alors difficile à franchir, entre « agronomie des ingénieurs » et « agronomie des techniciens », et par là fait progresser de façon décisive l'unité de la discipline, tout en amplifiant sa capacité de mise en pratique.

Les interactions motrices de la fabrique de l'agronomie ont, à certains moments, pris la forme de vives tensions entre forces divergentes – tropisme agricole *versus* finalités environnementales, orientation appliquée *versus* exigences académiques, maintien ou abandon du lien entre connaissance et action –, débouchant parfois sur des crises. En fin de compte, ces tensions ont joué un rôle émancipateur, en empêchant l'agronomie d'être entraînée et absorbée dans des courants où ses ressorts et équilibres internes se seraient dissous. Ainsi, il ne peut être nié que, dans la phase initiale de la fabrique, l'agronomie a été « productiviste ». Elle est, par la suite, restée longtemps « productionniste »[1], autrement dit axée sur les critères de production quantitative, dans une position d'observation passive d'évolutions sur lesquelles elle n'avait guère prise. Encore aujourd'hui et en dépit des multiples réformes de la politique agricole commune, les mécanismes de rémunération des agriculteurs privilégient l'abaissement des coûts de production et l'accroissement de productivité, alors que les autres aspects de la multifonctionnalité ne sont rémunérés que de façon détournée, précaire et finalement peu incitative. Plutôt qu'une adhésion idéologique des agronomes à l'intensification, c'est un déficit de problématisation sur les enjeux autres que la production qu'il y aurait lieu de pointer. Certes, depuis le tournant des années 1990, l'agronomie s'est émancipée non seulement de la primauté du rendement comme critère et objectif, mais plus largement des finalités exclusivement agricoles. Et cette évolution est clairement observable à travers l'extension des champs de recherche et d'enseignement. Une manifestation récente et spectaculaire en est l'affirmation de la santé humaine non seulement comme finalité plus ou moins lointaine, mais comme véritable fil directeur des stratégies de recherche en agronomie[2]. Bien au-delà de la sphère scientifique, cette extension se traduit aussi par l'élargissement des métiers et des secteurs d'emploi des agronomes. Raison de plus pour considérer que la rémunération d'une agriculture multifonctionnelle et durable est un objectif particulièrement crucial pour l'agronomie, car il conditionne sa capacité à influencer l'évolution de l'agriculture, capacité qui est elle-même un gage de consistance en tant que discipline scientifique et technique. L'atteinte de cet objectif est donc plus que jamais un sujet prioritaire d'investissement transdisciplinaire, et de coopération beaucoup plus intense entre agronomes et économistes.

1. Selon l'expression utilisée par N. Bricas lors de la conclusion des *Entretiens du Pradel* en 2011.
2. Voir Duru (2019). Il s'agit là d'une véritable rupture, car jusqu'à présent les agronomes considéraient que leur investissement dans ce domaine pouvait rester indirect et implicite, *via* les cahiers des charges en matière de composition et de qualité des produits végétaux.

Une histoire humaine

Le caractère anonyme des processus que nous avons évoqués pourrait faire croire que nous oublions le rôle-clé de certaines grandes figures et des écoles de pensée qu'elles ont engendrées. Il n'en est rien, et on aurait même pu envisager de retracer la fabrique de l'agronomie en réunissant les biographies des grands agronomes, sans omettre d'y adjoindre les apports plus circonscrits, mais cruciaux de nombreuses individualités marquantes. Autour de ces personnalités se sont créées des dynamiques collectives qui ont amplifié, approfondi et prolongé leur action et leur pensée au sein du système de recherche, développement et formation agronomique français. Ainsi, Demolon a entraîné l'agronomie dans le sillage de la science du sol, et lui a permis de se détacher de la phytotechnie. Hénin a non seulement poursuivi cette lancée, mais engagé l'agronomie dans la voie d'une investigation méthodologique originale, qui *a posteriori* apparaît comme un moteur d'autonomisation tout aussi important que l'évolution thématique. Sebillotte a inventé – ou en tout cas été le premier à formaliser – les concepts et démarches qui constituent les fondements de la composante technologique de l'agronomie, et lui confèrent sa spécificité de discipline *pour* et *sur* l'action. Sous sa direction puis celle des successeurs qu'il a formés, la chaire d'agronomie de l'INA-PG a été un des foyers les plus actifs de toutes les interactions évoquées ci-dessus, et un des ateliers les plus créatifs de la fabrique. Mais nous préférons voir dans ces personnalités, individus et groupes, plutôt que des prophètes de l'agronomie, l'incarnation des processus, et tout particulièrement des interactions motrices qui en ont fait la genèse : ces acteurs privilégiés ont toujours joué des rôles à la fois innovants et fédérateurs, à la charnière entre plusieurs disciplines et types d'organismes.

⏩ Pour le futur, quelle fabrique pour quelle agronomie ?

De multifonctionnelle à globale : pour l'agronomie, une nouvelle étape de la fabrique

L'agronomie du futur est en soi le sujet d'un autre ouvrage, et nous n'avons pas prétention à l'aborder ici de façon substantielle. L'exercice de réflexion prospective s'est d'ailleurs beaucoup développé ces dernières années dans les sphères de recherche-développement, tout particulièrement en ce qui concerne l'agronomie[3]. Nous ne pouvons cependant éluder la question de savoir si les processus d'évolution que nous avons mis en lumière dans cet ouvrage sont de nature à favoriser l'avènement de cette agronomie du futur, ou s'ils doivent être complétés ou abandonnés au profit d'autres dynamiques scientifiques et techniques. Par exemple, l'« écologisation de l'agriculture », dont la nécessité est proclamée de toutes parts, implique-t-elle une refondation de l'agronomie ? Du fait même de l'étendue qu'elle a acquise, et en raison des diverses transitions auxquelles est confrontée l'agriculture – climatique, alimentaire, écologique, mais aussi numérique, énergétique, démographique, sans oublier la transition dans les habitats et modes de vie –, l'agronomie est aujourd'hui en chantier sur de nombreux fronts de recherche et d'innovation. Pour ne prendre qu'un seul exemple, elle est encore loin d'avoir apporté une contribution suffisamment étendue, consistante

3. Voir Doré (2010) et Hinsinger *et al.* (2019b) comme exemples de réflexions portant sur l'ensemble de la discipline.

et précise du point de vue technique, à la protection intégrée des cultures. Plus globalement, et sans doute avant tout, faute d'un ancrage encore suffisamment puissant au sein du développement agricole, l'agronomie reste déséquilibrée, avec une composante technologique encore sous-développée par rapport à l'étendue des connaissances acquises et aux capacités de compréhension et de prédiction du fonctionnement des agroécosystèmes auxquelles les agronomes sont parvenus. En corollaire, l'agronomie apparaît en retard sur d'autres disciplines technologiques – par exemple le génie agroalimentaire – sur la voie de l'ingénierie réverse, qui part des objectifs à atteindre pour concevoir les systèmes, itinéraires et processus de production. Nul doute qu'une partie de ce retard soit due à la complexité infiniment plus grande de la démarche lorsqu'elle porte sur un espace cultivé plutôt que sur une usine. Se conjuguant à d'autres facteurs (facilité apparente des démarches de test comparatif, tendance des chercheurs au repli académique, « verrouillage » des processus d'innovation qui focalise l'appareil de recherche-développement vers le recours aux intrants industriels plutôt que les systèmes de culture alternatifs, etc.), cette difficulté a induit un certain attentisme des agronomes en matière d'innovation technique. L'émergence de nouveaux régimes d'innovation est à cet égard un facteur de revitalisation, à condition qu'il soit irrigué par une véritable ambition scientifique et explicative, et ne favorise pas le recours à des solutions toutes faites – agriculture de conservation, permaculture, agroforesterie, etc. Malgré les idéaux agroécologiques dont ils se réclament, ces « paquets techniques » plus ou moins normatifs auraient vis-à-vis du développement de l'agronomie un caractère tout aussi nocif que l'approche phytotechnique sur laquelle ont été fondées la Révolution verte, puis l'intensification forcenée du début des années 1980.

Si on se réfère à l'état de l'art de l'agronomie tel qu'il a pu être établi dans les articles et ouvrages de synthèse récents, l'écologisation de l'agronomie apparaît principalement comme une nouvelle avancée, avec son lot de remises en cause de paradigmes dépassés et d'assimilation de notions inédites, notamment en provenance de l'écologie, plutôt que comme une remise en cause radicale des acquis[4]. En tout état de cause, elle ne suffira pas à doter l'agronomie de toutes les capacités nouvelles d'analyse, de prédiction et d'innovation que requièrent les défis auxquels elle est confrontée. Sans tenter d'en faire l'inventaire, nous ferons ici état de deux aspects qui nous semblent nécessiter de véritables sauts qualitatifs, tant sur le plan des méthodes que des connaissances.

Le premier concerne la spatialisation de l'agronomie, qui va jusqu'à considérer le territoire comme objet d'étude et niveau d'organisation privilégiés. Plusieurs chapitres de cet ouvrage ont fait état de la prise en compte des processus spatiaux comme avancée majeure de l'agronomie, intervenue à partir de la fin des années 1980, et concomitante de la prise en charge des enjeux environnementaux. Par la suite, cet impératif n'a cessé de se confirmer, en s'appliquant à des thèmes de plus en plus nombreux, en particulier à l'analyse et à la prévention de la propagation des bioagresseurs dans le cadre de la protection intégrée des cultures. Aujourd'hui, il apparaît que la répartition spatiale des systèmes de culture, et plus généralement l'agencement spatial de l'ensemble des composantes de l'espace rural est, quel que soit le thème environnemental considéré, un déterminant majeur à prendre en compte. Mais une part importante de ses effets et de leurs interactions est insuffisamment connue – si ce n'est sur des points particuliers comme l'érosion des sols et la préservation de la ressource en eau, bénéficiant

4. En attestent plusieurs références citées dans Hinsinger *et al.* (2019b).

d'une longue accumulation de travaux – pour en faire un levier global de gestion et d'aménagement multifonctionnels de l'espace, par exemple pour fournir les bases d'un raisonnement agroécologique de l'aménagement agricole et forestier, qui s'est substitué au remembrement. La conséquence en est que l'agronomie est quasi absente de la plupart des procédures relevant du développement territorial, au profit d'injonctions globales et approximatives quant à leurs impacts : mise en œuvre de l'agriculture biologique, replantation des haies, promotion des circuits courts, etc. La difficulté à insérer un raisonnement agronomique dans ces projets est liée à leur caractère multifonctionnel, puisqu'il faut appréhender simultanément divers types d'activités, dont les impacts ne répondent pas nécessairement de la même façon à la configuration spatiale des systèmes de culture. L'avènement d'une agronomie « du paysage »[5], capable d'apporter une contribution reconnue et sollicitée au développement territorial, nous semble impliquer un investissement cognitif et technologique inédit, sur toutes les interactions spatiales que met en jeu le fonctionnement des agroécosystèmes, sur les méthodes qui permettent de les appréhender, sur les modèles à utiliser pour les comprendre et les prévoir, sur les systèmes collectifs qui en assurent la plus ou moins bonne gestion sociale et politique – y compris la coordination des innombrables réglementations sectorielles qui encadrent désormais l'activité agricole –, enfin sur les démarches d'accompagnement appropriées. On entrevoit ainsi des interactions inédites entre agronomie et sciences économiques, juridiques et politiques.

Le deuxième aspect procède plus spécifiquement de la conjonction entre enjeux environnementaux et enjeux alimentaires, elle-même liée à la concomitance entre changement climatique, crise de biodiversité, croissance démographique et transition des régimes alimentaires. En tant que premier maillon de la chaîne alimentaire humaine, du fait de son emprise spatiale, et en raison de l'intensité des impacts écologiques et environnementaux qu'elle exerce et qu'elle subit, l'agriculture est à la charnière de ces enjeux, notamment à travers les activités de production végétale et les systèmes de culture mis en œuvre. Or les solutions à trouver ne consistent pas seulement en une intensification écologique vertueuse, mais aussi en une colocalisation optimisée à diverses échelles, du local au planétaire, des productions végétales, des systèmes de production, des lieux de consommation, des régimes alimentaires des populations concernées, des systèmes de transformation agroalimentaires et de commercialisation, et des réseaux et infrastructures de transport et de recyclage des déchets. Pour s'en tenir à un seul aspect du problème, la réduction des émissions de gaz à effet de serre ne doit pas se limiter à juxtaposer des mesures sectorielles relatives à la production primaire, au transport et à la transformation des produits végétaux et alimentaires, aux modes de fabrication et de répartition des intrants, au devenir des sous-produits ou déchets : ces différents aspects doivent être considérés de façon conjointe en tenant compte de leurs interactions. C'est donc à une optimisation géographique globale qu'il faut parvenir, et à laquelle l'agronomie doit apporter sa contribution. Pour devenir à la fois multifonctionnelle et planétaire dans ses applications – et ainsi, faire fructifier la perspective d'agronomie globale[6] –, elle doit, là encore, s'articuler avec les disciplines qui traitent des autres aspects du fonctionnement des socio-écosystèmes agroalimentaires régionaux. Là encore, le développement de coopérations inter-, voire transdisciplinaires

5. Traduit de *landscape agronomy* (Benoît *et al.*, 2012).
6. Notion introduite par Makowski *et al.* (2014).

avec l'économie est à considérer, à la fois comme condition et signe de progrès vers une agronomie plus globale non seulement au sens géographique du terme, mais aussi du point de vue des problématiques abordées. L'anomalie que constitue le déficit de collaboration historique entre agronomie et économie, malgré un suffixe commun qui devrait les y prédisposer, est sans doute due en partie aux différences de positionnement des deux disciplines par rapport aux enjeux, échelles et sujets globaux[7].

En accolant au terme « agronomie » le qualificatif de global, nous faisons référence à des approches inédites, qui correspondent à un saut qualitatif dans la capacité d'analyse et d'application de l'agronomie. Notre intention n'est pas d'identifier une nouvelle branche de la discipline, ni *a fortiori* de reléguer au second plan les champs thématiques préexistants au profit d'un courant en vogue. Au contraire, en donnant une nouvelle dimension aux thèmes et aux compétences de base axés sur le fonctionnement des agroécosystèmes et les systèmes de culture, cette augmentation de capacité est de nature à renforcer l'unité de la discipline.

La fabrique, ses ateliers et ses agents

Aujourd'hui, le cadre dans lequel se construit l'agronomie du futur se caractérise par une irrésistible montée de l'inter-, voire de la transdisciplinarité, corollaire de la complexité croissante des objets d'étude associés aux grands enjeux du présent et du futur. L'agronomie est désormais incluse au sein d'organisations de recherche et d'enseignement supérieur plus ou moins pérennes – du projet ou programme au département d'enseignement ou de recherche – qui sont structurées autour de problématiques et d'objets plutôt que de disciplines. Au niveau du développement agricole, l'agronomie n'est plus exclusivement prise en charge par les organismes techniques ; elle diffuse à travers un tissu institutionnel beaucoup plus complexe, au sein duquel les organismes économiques jouent désormais un rôle important. S'agissant des agriculteurs eux-mêmes, les réseaux professionnels, qui ont toujours joué un rôle-clé dans l'innovation, prennent de nouvelles formes, notamment *via* les réseaux sociaux, à la fois plus autonomes vis-à-vis des institutions et moins assujetties à la proximité géographique. Dans les actions de recherche et de développement auxquelles ils participent, les agronomes interagissent avec des métiers issus d'horizons disciplinaires beaucoup plus diversifiés qu'autrefois. Ces actions impliquent une gamme d'acteurs et de partenaires très élargie par rapport aux seuls agriculteurs et agents du développement agricole, où figurent en bonne place les diverses instances et acteurs de la gestion de l'espace rural et du développement territorial. Nous avons vu que l'élargissement concernait aussi le marché de l'emploi et les métiers d'agronome.

Cette dynamique d'ouverture et de transversalité est avant tout une chance, car elle favorise les importations, les échanges et les interactions qui, en agronomie plus encore que dans beaucoup d'autres disciplines à composante technologique, ont été et demeurent les principaux moteurs de progression. Dans ce cadre, l'apparentement réaffirmé de l'agronomie à l'écologie est un atout considérable. Il lui permet en effet d'être entraînée dans la forte dynamique de développement conceptuel et méthodologique qui marque aujourd'hui l'évolution de cette discipline, dont un aspect notable

7. Voir à ce sujet l'interpellation stimulante de Guyomard adressée à la communauté des agronomes à l'occasion d'une assemblée générale de l'AFA (Guyomard, 2021).

est l'établissement de ponts avec les sciences humaines et sociales. En rapport avec les développements précédents, l'essor tout particulier de l'écologie du paysage, et le fort investissement de l'écologie dans l'appréhension de l'échelle planétaire, sont à exploiter intensivement. Est-ce à dire que l'avenir de l'agronomie est garanti dans ce nouveau cadre, et que les agronomes peuvent se laisser porter par la vague de l'écologie et dans le courant de la transdisciplinarité ?

Le parcours que nous venons de retracer nous amène à répondre par la négative : sans investissement ciblé et volontariste, rien ne garantit que soit maintenue la double articulation science-technique et connaissance-action qui est au cœur de la discipline agronomie. Il n'est pas assuré que continue à progresser la continuité de la chaîne explicative et prédictive qui va de la décision de l'agriculteur – elle-même influencée notamment par la structure de son système de production et les mécanismes de formation de son revenu – aux multiples variables d'intérêt résultant du fonctionnement des agroécosystèmes. Rien ne garantit que l'intervention culturale soit appréhendée comme perturbation écologique complexe, et que la liaison directe technique-rendement (ou sa version rénovée type d'agriculture-performance écologique et alimentaire) ne resurgisse. Rien ne garantit que l'agronomie ne se dissolve de façon imperceptible, au profit d'une phytotechnie normative repeinte en vert et présentant tous les attributs de la modernité grâce à l'usage intensif des technologies numériques, tout en revenant à l'approche « boîte noire » et en faisant abstraction du raisonnement et du processus de décision de l'agriculteur. Nous pensons que cette issue doit être évitée, non par nostalgie, mais parce qu'elle créerait une rupture de continuité dans l'avancée des connaissances, et entraînerait non seulement une régression scientifique, mais aussi une perte d'efficacité de l'innovation en agriculture, avec à la clé un retard à la prise en charge des enjeux planétaires. Soulignons que l'aspect terminologique du problème est à nos yeux secondaire, même si nous continuons à penser que le terme « agronomie » reflète mieux que tout autre la spécificité et l'utilité de la discipline dont nous avons retracé l'évolution. Qu'elle soit ou non rebaptisée agroécologie, cette discipline n'en sera pas moins exposée au danger de rupture de continuité que nous venons d'évoquer. Pour le surmonter, il nous semble que plusieurs conditions doivent être réunies.

La première relève de l'évidence : il faut que les agronomes qui œuvrent au sein du système de recherche-développement-formation agronomique soient présents dans les instances et débats où se déterminent les orientations stratégiques de ce système, et y soient porteurs des enjeux d'articulation science-technique et connaissance-action. L'évolution que nous avons retracée nous enseigne que pour cela un effort particulier doit être consenti pour dépasser les cloisonnements aussi bien disciplinaires qu'institutionnels, et au contraire créer des interfaces.

Non moins évidente est la nécessité que l'agronomie reste identifiée comme compétence professionnelle spécifique, socle de métiers reconnus et caractérisés, et que le terme « agronomie » soit utilisé comme descripteur de profils de recrutement dans un vaste éventail d'organismes employeurs. Cet étiquetage doit tout particulièrement s'appliquer aux organismes qui constituent le creuset de la fabrique : enseignement supérieur et recherche. Mais son extension à une beaucoup plus large gamme d'employeurs est essentielle : si le marché de l'emploi recrute des agronomes, l'enseignement formera des agronomes, et délivrera des formations en agronomie.

En découle une exigence de capitalisation des acquis qui peut paraître, là encore, une évidence : qui dit compétence à recruter dit socle de savoirs et savoir-faire enseignés, donc formalisés et constamment actualisés. Mais, tout au long de son histoire, le caractère lent et incomplet de la capitalisation des acquis a été une faiblesse de l'agronomie, avec à la clé de multiples difficultés : oubli des avancées déjà réalisées, réitération de démarches déjà effectuées, régression des approches, défaut de reconnaissance externe, etc. Dans un contexte qui pousse à la transversalité et rend les spécificités disciplinaires moins nettes, cet effort de capitalisation nous semble plus que jamais vital. Il ne se limite pas à l'élaboration de « traités d'agronomie », qui en constituent la forme la plus aboutie et exhaustive. Pour prendre toute son efficacité, la capitalisation doit aussi comporter des étapes intermédiaires : états de l'art et ouvrages de synthèse sur les différents champs thématiques, manuels didactiques, référentiels techniques régulièrement actualisés, etc. Il s'agit donc d'une démarche collective et coordonnée qui incombe à l'ensemble de la communauté des agronomes, et pas seulement aux chercheurs ou enseignants-chercheurs.

Bien moins évidente à mettre en pratique, tout en étant peu contestable en tant que déclaration de principe, est la nécessité de dynamiser la relation agronome-agriculteur, processus vital de la fabrique grâce auquel est activée la double dialectique connaissance-action et science-technique. Cette relation est multiforme et s'établit à diverses échelles, depuis celle du dialogue individuel sur le terrain jusqu'à celle du système de recherche-développement pris dans son ensemble. Elle s'exerce de façon plus ou moins directe, à travers des processus, situations et instances très divers : colloques et réunions techniques, visites et rencontres de terrain, articles techniques sur différents types de supports, exercices pédagogiques et stages d'étudiants, projets de recherche-action, etc. En raison de cette multiplicité de formes, mais aussi parce que la relation agronome-agriculteur est à tort considérée comme un processus naturel, implicite et spontané, et s'efface derrière la relation abstraite agronomie-agriculture, la vitalité de cette relation à double sens n'est pas objet d'examen. Or cette relation ne va pas de soi, et dans un dispositif aussi complexe et segmenté que le système de recherche-développement-formation agronomique français, sa distension et son affaiblissement sont des tendances plus spontanées que son resserrement. Dans les messages techniques reçus aujourd'hui par les agriculteurs, quelle est la part de contenu qui a son origine dans la recherche en agronomie ? Quelle est la part que prend la formation au diagnostic agronomique, aux échelles de la parcelle et de l'exploitation, dans la formation des agronomes ? Lorsque les collectifs de recherche élaborent leurs prospectives stratégiques, quel effort consacrent-ils à l'analyse des problématiques agricoles ? Cet effort s'est-il accru, et ses modalités se sont-elles renouvelées par rapport aux années antérieures ? Il n'est pas certain que les réponses à ces questions, et à bien d'autres qui pourraient être posées dans cette perspective, traduisent un renforcement des interactions. Et surtout, ces questions ne sont pas instruites. Il revient à la communauté professionnelle des agronomes de s'en saisir, et de mettre sur pied le dispositif et les instruments qui lui permettront de porter régulièrement ce diagnostic, vital, sur l'état de la relation agronome-agriculteur.

⏩ Passage de témoin

L'intitulé que nous avons choisi de donner à cet ouvrage exprime une ambition épistémologique et historique : nous parlions d'appréhender la formation d'une discipline, l'agronomie, et marquions notre intention non seulement de la décrire, mais de mettre

à jour les processus sous-jacents, la fabrique. En introduction de cet ouvrage, nous avons fait état des options qui ont présidé à notre entreprise, et des limites qui en résultent par rapport à une telle ambition. En définitive, l'intitulé de l'ouvrage exprime un objectif en direction duquel nous n'avons fait qu'un premier pas. Pour l'atteindre, le travail doit être poursuivi dans plusieurs directions.

La première consiste à compléter le dispositif d'analyse en l'élargissant au niveau international. Si l'agronomie est bien une discipline, ce n'est évidemment pas dans un seul pays que sa fabrique doit être analysée, sauf à risquer d'innombrables confusions d'effets et à se tromper sur le rôle effectif de certains facteurs et conditions. Il apparaît donc souhaitable que des travaux du même type concernant d'autres grands pays agricoles et scientifiques, déjà réalisés ou à entreprendre, puissent entrer avec le nôtre dans une démarche comparative, permettant de faire apparaître des processus invariants, et au contraire certains aspects contingents des contextes sociopolitiques ou institutionnels propres à ces pays. Mais nous pensons que, même dans le cadre de cette internationalisation de la démarche, l'échelle nationale doit être conservée comme niveau d'organisation privilégié pour appréhender certains processus cruciaux, par exemple les interactions entre recherche, formation et développement, ou entre acteurs publics et privés. Et nous continuons à penser qu'une histoire « universelle » de la science agronomique, fondée sur l'évolution de la littérature internationale et faisant l'impasse sur l'échelle nationale, resterait avant tout descriptive.

La seconde est l'approfondissement et l'élargissement épistémologiques. Dans ce cas, c'est aux historiens des sciences que nous passons le relais. La fabrique de l'agronomie doit sans aucun doute être resituée dans le cadre d'une évolution beaucoup plus globale des sciences et techniques, dans leurs cadres conceptuels et dans les méthodes qu'elles emploient. Beaucoup d'explications, que nous n'avons qu'effleurées, en découleraient sans doute. Pour n'évoquer qu'un aspect parmi d'autres, il serait particulièrement éclairant de s'intéresser aux heurs et malheurs de la coévolution agronomie-écologie, et de mieux comprendre pourquoi et comment cette coévolution s'est faite tantôt à distance, tantôt de façon quasi fusionnelle. À l'inverse, l'évolution épistémologique de l'économie sous ses diverses formes éclairerait sans doute pourquoi l'agronomie s'est si faiblement étendue dans sa direction, et comment mieux faire à l'avenir.

La troisième est historique au sens le plus large du terme : la fabrique de l'agronomie a été pour partie déterminée par des dynamiques économiques, sociales et politiques plus globales. Dans la démarche avant tout agronomique qui a été la nôtre, nous n'avons appréhendé ces influences que de façon indirecte et plus ou moins implicite, à travers l'évolution des thématiques et démarches de l'agronomie, de son implication dans l'innovation, et de son devenir dans différentes catégories d'institutions. Ce faisant, nous avons pu donner l'impression de privilégier abusivement les dynamiques endogènes. Tout en ayant conscience du fait que l'agronomie a été moins autonome que notre récit peut en donner l'impression, nous assumons cette déformation optique, car elle permet de mettre au jour des processus que l'historien n'aurait pas perçus. Il reste qu'en prenant plus de recul, on verrait certainement mieux apparaître les grands courants, et les tournants majeurs qui ont en partie déterminé les finalités de l'agronomie et leur évolution, fait évoluer les pratiques agricoles – et en cela déterminé les caractéristiques et même la nature des objets étudiés – et influé sur le cadre institutionnel dans lequel l'agronomie s'est développée. Parmi ces grands déterminants externes, l'évolution des

politiques agricoles et environnementales, les négociations internationales dans le cadre du GATT et de l'OMC, ainsi que des politiques en matière d'enseignement et de recherche occupent bien sûr une place de premier plan, mais l'historien nous amènerait aussi à ne pas occulter des facteurs moins évidents, mais très importants, comme la politique coloniale et la décolonisation dans le passé, ou, plus proches de nous dans le temps, les modes d'urbanisation et les politiques de santé publique, pour s'en tenir à des exemples. En relisant – avec plaisir et passion – les grands « classiques » d'histoire agricole – on nous pardonnera de ne citer ici que l'*Histoire de la France rurale* –, on se prend à espérer que le prochain d'entre eux donnera un peu plus de place à l'agronomie, et bénéficiera un peu plus de son éclairage.

Parmi les lecteurs de cet ouvrage se trouveront sans doute quelques agronomes. Ils auront certainement perçu le message sous-jacent à ces dernières lignes : les chantiers que nous indiquons sont ouverts ; à la communauté professionnelle des agronomes de s'y intéresser et d'y contribuer. Cet engagement sera un signe de vitalité de la discipline, une source d'éclairage pour discerner ses perspectives de développement, et au total un stimulant pour la poursuite de la fabrique.

Postface

La *Fabrique de l'agronomie*, présent et futur pour l'Association française d'agronomie

Décrire l'évolution de l'agronomie depuis la Seconde Guerre mondiale et en proposer une analyse par ceux-là mêmes qui l'ont à la fois façonnée et utilisée pour traiter les problèmes successifs auxquels l'agriculture a fait face, tel est l'objectif de cet ouvrage et le défi lancé par ses initiateurs. Au terme de la lecture de cette fabrique de l'agronomie, force est de constater que le pari est réussi. L'ouvrage restitue de façon très argumentée et pédagogique le double processus d'autonomisation de l'agronomie, avec la construction de son propre corpus de concepts, d'objets et de méthodes, et sa capacité à s'adapter en permanence aux évolutions de l'agriculture, des sciences et des demandes sociétales. Sa force est aussi liée à la diversité de ses contributeurs, issus des différents secteurs professionnels où exercent les agronomes, notamment de la recherche, du développement et de l'enseignement. Que soient ici remerciés les auteurs des différents chapitres, les relecteurs critiques et, bien entendu, les coordinateurs qui ont guidé cette véritable aventure humaine.

Le résultat en est un document de référence qui fera date pour tous ceux qui s'interrogent sur ce qu'est l'agronomie, y compris les agronomes eux-mêmes parfois perplexes sur ce qui les réunit comme communauté. Cette analyse rétrospective de l'agronomie par ceux qui l'ont faite illustre bien sa nature dynamique, à la fois en tant que discipline scientifique et pratique de terrain en évolution permanente, s'interrogeant sans cesse sur ses finalités, ses concepts et ses méthodes, mais également ses partenariats, comme l'illustre l'analyse des interactions fécondes avec les autres disciplines scientifiques, l'évolution de la relation avec les agriculteurs – de la prescription à la médiation – ou encore l'élargissement continu des acteurs pris en compte. Mais l'ouvrage aborde également les menaces qui affectent la double articulation connaissance-action et science-technique au cours de l'évolution de l'agronomie : notamment affaiblissement général du système recherche-développement-formation agronomique, ou encore déclin de la place du diagnostic agronomique aux échelles de la parcelle et de l'exploitation agricole dans la formation des agronomes. Les pistes évoquées pour éviter cet écueil s'articulent autour de la relation agronome-agriculteur, essentielle et nécessairement multiforme, qu'il faut réinventer dans les transitions en cours.

Cette *Fabrique de l'agronomie* n'est donc qu'un point d'étape et non la fin de l'histoire. Comme les coordinateurs nous y invitent dans leur conclusion, les agronomes doivent poursuivre l'œuvre engagée, et l'agronomie continuer à creuser son sillon et à poursuivre ce double processus d'autonomisation et d'adaptation dans un contexte

où les défis de l'agriculture restent immenses : accélération du changement et du dérèglement climatiques, exploitation excessive des ressources naturelles, alimentation suffisante et de qualité pour une population plus nombreuse, responsabilité et maîtrise des effets des innovations technologiques et organisationnelles.

Interpellée à plusieurs reprises, l'Association française d'agronomie (AFA) est invitée à reprendre le flambeau, à consolider les acquis et à préserver l'équilibre fragile dans cette tension entre autonomisation et adaptation. C'est un immense défi que notre jeune association doit relever en fédérant les différents métiers d'agronomes. Les actions déjà engagées, comme la revue *Agronomie, environnement & sociétés*, les ateliers-terrain, les débats agronomiques, les entretiens agronomiques Olivier de Serres, et plus récemment les webinaires d'innovations chez les agriculteurs permettent aux agronomes de partager leurs expériences de terrain, de les capitaliser et d'en tirer des enseignements génériques.

En tant que carrefour interprofessionnel, l'AFA développe une véritable démarche collective d'agronomie clinique où se construisent des savoirs issus de la pratique, et favorise la construction d'une culture commune des agronomes des différents métiers, favorables à la reconnaissance de leurs compétences. En tant que société savante, elle contribue à la capitalisation des savoirs agronomiques, mais aussi à la réflexion sur la discipline. *La Fabrique de l'agronomie* en est une illustration marquante, mais l'association devra poursuivre ce travail réflexif avec des historiens des sciences et des épistémologues.

Face aux défis mentionnés plus haut, elle doit aller plus loin, plus fort et plus vite. Si la prise de conscience de ces défis a beaucoup progressé et s'est probablement accélérée avec la pandémie ayant surgi en 2020, il y a en effet urgence à agir. Les modes de production agricole, nos régimes alimentaires et nos modes de vie doivent changer de manière beaucoup plus profonde que ce que tout un chacun imagine ou est prêt à engager. Sur tous ces sujets, les agronomes, et en particulier les jeunes générations, ont un rôle essentiel à jouer pour répondre à l'urgence en proposant des solutions, que ce soit par la production et la diffusion de nouveaux savoirs dans la recherche et l'enseignement, par l'accompagnement des agriculteurs dans la transition vers des systèmes durables, ou encore par la mise en œuvre de nouveaux dispositifs pour organiser les régulations dans les systèmes alimentaires aux différentes échelles.

Pour cela, de nouvelles compétences sont probablement nécessaires : l'AFA y consacre ses *Entretiens agronomiques 2021-2022*, afin d'identifier les compétences clés des différents métiers d'agronomes et de créer une dynamique pour l'engagement des agronomes de tous les métiers dans l'accompagnement des transitions. Science pour l'action par excellence, l'agronomie doit en effet se montrer à la hauteur des enjeux.

Nul doute que cette *Fabrique* y contribuera et sera « utile aux agronomes d'aujourd'hui et de demain, pour faire évoluer leurs métiers, étendre et renforcer leurs compétences, et affronter les défis du futur ».

Antoine Messéan,
président de l'Association française d'agronomie

Encadré. Les missions de l'Association française d'agronomie

Agents du développement, agriculteurs, chercheurs, enseignants, ingénieurs dans des firmes d'agrofourniture ou de transformation, responsables dans des administrations ou des associations font de l'Association française d'agronomie (AFA) un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats autour des questions agronomiques.

L'AFA a deux finalités principales :
– développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et contribuer à résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ;
– faciliter l'évolution de l'agronomie en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Son activité est aujourd'hui organisée autour de quatre missions principales.

■ **Partager entre agronomes**

L'AFA est un carrefour interprofessionnel qui vise à rassembler et faire dialoguer les différents métiers où les agronomes s'investissent et à croiser les regards disciplinaires pour faire face à l'urgence, comprendre les enjeux auxquels est confrontée l'agriculture, partager des solutions et accompagner les acteurs agricoles. Certains métiers ou secteurs, moins représentés que d'autres dans nos réflexions actuelles, comme les décideurs politiques et les organismes économiques qui se trouvent au cœur des transformations de systèmes, doivent y tenir une place accrue.

L'AFA regroupe des agronomes qui partagent des valeurs communes mais sans que cela signifie qu'il y ait accord sur un modèle de développement agricole. La diversité des métiers, des parcours et des convictions ne doit pas empêcher d'exprimer clairement nos valeurs et nos démarches. L'AFA se positionne sur l'accompagnement des transitions, sans faire le choix *a priori* d'un modèle spécifique de transition, en étant plutôt « militants » de la complexité que militants d'un modèle donné, et en étant aussi militants des diversités de situations à instruire au mieux plutôt que militants d'un type d'agriculture.

■ **Capitaliser, valoriser, transmettre les savoirs agronomiques**

L'agronomie est profondément ancrée dans la compréhension des interactions plante-sol-climat-techniques. La transition agroécologique renforce la complexité et la variabilité des réponses du système agropédoclimatique aux actions techniques. L'exigence de tirer des enseignements génériques à partir d'expériences toujours plus singulières s'en trouve renforcée et constitue un chantier collectif majeur pour notre communauté. Par ailleurs, les manières de produire de la connaissance évoluent sous tension entre l'agronomie globale et l'agronomie du champ (prendre en compte des objets plus complexes, pas uniquement la parcelle mais aussi le territoire, la rotation plus que la culture annuelle, des systèmes de culture plus diversifiés, loin du modèle « une culture pure » par an).

Une des implications majeures est que les références ne se produisent plus seulement dans des expérimentations normalisées multilocales dans lesquelles l'approche statistique permet de tirer des conclusions génériques diffusables. Non seulement les références sont plus spécifiques, mais elles sont de plus en plus produites par les acteurs eux-mêmes dans un processus de co-innovation ou de coconstruction des connaissances, où l'hybridation des savoirs joue un rôle moteur. Il ne s'agit plus tant

Encadré. Les missions de l'Association française d'agronomie (suite)

de produire des prescriptions de pratiques, fussent-elles à l'échelle des systèmes de culture, mais d'outiller les acteurs afin qu'ils pilotent leurs systèmes. La revue *Agronomie, environnement & sociétés* est un vecteur privilégié pour partager, capitaliser les savoirs et engager cette réflexion autour des démarches d'agronomie clinique.

Et si la capitalisation des savoirs exige toujours une prise de recul qui se traduit dans des ouvrages de synthèse, les vecteurs numériques et les réseaux sociaux jouent un rôle essentiel dans le partage des expériences et des savoirs entre pairs qui complètent, voire remplacent dans certains cas, la transmission « verticale » de ces savoirs qui n'est plus adaptée à un contexte de coconstruction des références et des solutions. Cette dimension numérique affecte tout particulièrement la transmission vers les jeunes agronomes et la formation, à la fois initiale et continue. La capacité de ces nouveaux supports à permettre la capitalisation des savoirs agronomiques reste à construire dans les années à venir.

■ Explorer les futurs

Même si le dérèglement climatique est admis par tous, ses implications en matière d'évolution des systèmes de culture, mais également de pratiques de recherche, de production de références et de stratégies de pilotage des systèmes n'ont pas encore été suffisamment analysées. De même, le regard de la société sur les modèles agricoles et la pandémie actuelle incite à concevoir des systèmes agri-alimentaires à la fois plus résilients et plus flexibles. Face à l'imprévisibilité croissante des conditions environnementales et à l'élargissement des critères d'évaluation des « performances » des systèmes de culture, la notion d'optimalité, encore très présente dans nos pratiques actuelles, évolue peu à peu vers la notion de viabilité de solutions en milieu incertain. L'exploration de scénarios, de leur cohérence et de leur faisabilité, est un outil utile pour accompagner ce changement de paradigme. Les événements de l'AFA (Débat agronomique, Entretiens agronomiques Olivier de Serres) contribuent à cette mise en perspective.

La recherche de compromis entre des critères multiples et des trajectoires imprévisibles réinterroge les approches méthodologiques focalisant sur l'exploration de la variabilité plutôt que sur l'optimisation. Comment intégrer les perdants dans les analyses de compromis, aborder la notion de résilience ? Comment instruire des solutions en rupture complète (après le zéro phyto, le maximum d'heures de travail par hectare) ? Comment faire avec la diversité qui réémerge (après des décennies d'homogénéisation) : statuts des exploitants, des exploitations, des systèmes de culture (diversification dans le temps et dans l'espace), des filières, des échelles de raisonnement, des acteurs à chaque échelle ? Les approches multi-échelles, la diversité des points de vue des adhérents de l'AFA et des invités lors de ses événements, et des actions comme les ateliers-terrain favorisent la construction de solutions collectives.

Comment adapter l'amélioration végétale à la diversification des systèmes au-delà de l'évolution des critères de sélection ? Comment prendre en compte les opportunités et peut-être aussi les contraintes qu'apporte le développement du numérique (capteurs, données, applications) ? Quelles perspectives du biocontrôle dans la gestion phytosanitaire ? Quels apports de l'écologie des sols dans l'évolution des systèmes de culture ? Quels apports de l'écologie des populations dans la construction de systèmes de cultures multi-espèces et multi-cultivars ? La démarche interdisciplinaire et pluri-professionnelle de l'AFA permet le dialogue nécessaire à la réflexion scientifique et technique pour l'agriculture.

Éclairer le débat public

L'agronomie n'a certainement pas la place qu'elle mériterait dans le débat public. Si l'AFA n'a pas vocation, ni les moyens, de s'instituer en force de lobbying auprès des pouvoirs publics, elle se donne pour ambition de proposer une lecture agronomique des politiques publiques, de leurs attendus et de leurs conséquences, et ainsi contribuer à l'élaboration des politiques (par exemple instruments d'évaluation *ex ante* et *ex post* d'impact des systèmes).

Elle se propose aussi d'aider à la construction de la perception de la société par notre regard spécifique sur l'agriculture et sur sa complexité (complémentarité animal/végétal, dépendance des systèmes de culture au glyphosate, etc.), tout en proposant des voies de transition ambitieuses et réalistes.

Repères bibliographiques

Toutes les références citées dans le texte sont accessibles *via* le lien suivant : https://www.quae.com/produit/1743/9782759235414/la-fabrique-de-l-agronomie

Classées chronologiquement, celles qui suivent sont à consulter pour approfondir ou illustrer toutes les étapes de la « fabrique de l'agronomie », dans ses différents aspects.

Serres O. De, Seigneur du Pradel. 1600. *« Le Théâtre d'agriculture et Mesnage des champs », dans lequel est représenté tout ce qui est requis et nécessaire pour bien dresser, gouverner, enrichir et embellir, la Maison Rustique*. Ed. Thesaurus, Introduction de Pierre Lieutaghi, Actes Sud, 1996, 1545 p.

Tillet M., 1755. *Dissertation sur la cause qui corrompt et noircit les grains de bled dans les épis, et sur les moyens de prévenir ces accidens*. Vve de Pierre Brun, Bordeaux.

Duhamel du Monceau H.L., 1762. *Éléments d'Agriculture, tome II*. ed. H. L. Guérin et L. F. Delatour, Paris.

Parmentier M., 1789. *Traité sur la culture et les usages des pommes de terre, de la patate et du topinambour*. Barrois l'Aîné, Paris.

Liebig J., 1840. *Traité de Chimie organique*, trad. Ch. Gerhardt. Fortin Masson, Paris.

Gasparin A. De, 1848. *Cours d'agriculture, tome 1*. La Maison rustique, Paris. https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k65663622/f11.item

Heuzé G., 1862. *Les Assolements et les systèmes de culture*, Hachette, Paris, 534 p.

Corenwinder B., Woussen H., 1875. Les engrais chimiques et la betterave, recherches faites à Houdain (Pas-de-Calais). *In* : *Annales agronomiques* (Dehérain P.P., ed.). C. Masson, Paris, 8-16.

Petermann M., 1876. Recherches sur le meilleur mode d'emploi des engrais artificiels appliqués à la culture de la betterave à sucre. *In* : *Annales agronomiques* (Dehérain P.P., ed.). C. Masson, Paris, 241-262.

Audoynaud A., 1877. De l'influence qu'exercent sur la vigne les engrais potassiques. *In* : *Annales agronomiques* (Dehérain P.P., ed.). C. Masson, Paris, 50-60.

Hénin S., 1944. Sur la méthode en agronomie. Thèse de doctorat d'université, Faculté des lettres de Paris. *In : De la méthode en agronomie* (Hénin S., 2016). L'Harmattan, Paris, 21-141.

Hénin S., Dupuis M., 1945. Essai de bilan de la matière organique des sols. *Annales agronomiques*, 15 (1), 161-172.

Lasnier-Lachaize L., 1945. *Sommaire d'agronomie à l'usage des instituteurs*. Éditions Flammarion.

Demolon A., 1946. *L'Évolution scientifique et l'agriculture française*. Flammarion, Paris.

Rufin G., 1950. Trois années de propagande et de vulgarisation dans une D.S.A. d'importance moyenne. *Bulletin technique d'information,* 52, 535-542.

Riedel C.-E., Franc de Ferrière J., 1951. Les sols de limon des plateaux de la Brie française. *Annales agronomiques*, 6, 782-802.

Demolon A., 1952. *Principes d'agronomie. Tome 1 : Dynamique du sol, 5e édition*. Dunod, Paris, 520 p.

Bastisse E.M., 1953. Dix-huit années d'études lysimétriques appliquées à l'agronomie (1er, 2e et 3e mémoires). *Annales agronomiques*, (6), 55 p.

Barbier G., Lesaint M., Tyszkiewicz E., 1954. Recherches au moyen d'isotopes sur les phénomènes d'autodiffusion dans le sol et sur l'alimentation des plantes. *Annales agronomiques*, 923-959.

Chazal P., Dumont R., 1955. *La Nécessaire révolution fourragère et l'expérience lyonnaise*. Le Journal de la France agricole, 170 p.

Coppenet M., 1956. *Le Problème du chaulage à la lumière de la science agronomique moderne*. CELAC Ed., 32 p.

Demolon A., 1956. *Principes d'agronomie. Tome II. Croissance des végétaux cultivés*. Dunod, Paris.

Gros A., 1957. *Engrais. Guide pratique de la fertilisation*. La Maison rustique, Paris, 356 p.

Gros A., 1960. *Engrais. Guide pratique de la fertilisation, 2e édition*. La Maison rustique, Paris, 406 p.

Hénin S., Fraigneaud R., 1960. Quelques considérations sur le problème des assolements. *Comptes-rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*, 519-526.

Hénin S., Féodoroff A., Gras R., Monnier G., 1960. *Le Profil cultural. Principes de physique du sol*. Société d'Éditions des ingénieurs agricoles, Paris, 320 p.

Loi du 2 août 1960 relative à l'enseignement et à la formation professionnelle agricole, http://www.admi.net/jo/loi60-791.html

Hénin S., Sebillotte M., 1962. Si nous parlions « assolement ». *Bulletin des CETA*, 783, 1-8.

Robelin M., 1962. Évaporation réelle de différents couverts végétaux bien alimentés en eau et évapotranspiration potentielle. Détermination expérimentale. *Annales agronomiques*, 13 (6), 493-520.

Deffontaines J.-P., 1964b. Recherches sur les potentialités agricoles dans le plateau de Millevaches. *Annales de l'Institut national agronomique*, 249-336.

Inra (collectif), 1964. *L'Eau et la Production végétale*. Inra Éditions, Paris, 455 p.

Hénin S., 1967. Les acquisitions techniques en production végétale et leurs applications. *Économie rurale*, 74, 31-44.

Hébert J., 1969. La fumure azotée du blé. *Bulletin technique d'information*, 244, 755-766.

Hénin S., Gras R., Monnier G., 1969. *Le Profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques*. Masson et Cie Editeurs, Paris.

Sebillotte M. 1969. Le tour de plaine. Facteur de rentabilité dans l'entreprise agricole. *Entreprise agricole FNCETA*, 1534, 15-23.

Monnier G., 1970. Les objectifs des techniques culturales. Problèmes posés par leur choix et l'appréciation de leur action. *In* : *Compte-rendu du colloque Herbicides et techniques de culture*, Versailles 1969, FNGPC-COLUMA, Paris, 39-57.

Prats J., 1970. *La Fertilisation raisonnée, 2e édition*. Ministère de l'Agriculture, Paris, 93 p.

Sebillotte M., 1970. Les modifications des assolements et rotations liées à l'emploi des herbicides. *In* : *Compte-rendu du colloque Herbicides et techniques de culture*, Versailles 1969, FNGPC-Columa, Paris, 235-289.

Maquart D., Gras R., Mamy J., 1971. Essai de programmation de la recherche. Département d'Agronomie. *Annales agronomiques*, numéro hors série.

Milleville P., 1972. Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne-Casamance. *Cahiers de l'Orstom, série Biologie*, 17, 23-37. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/biologie/17621.pdf

Gachon L. (ed.), 1974b. La fertilisation raisonnée. *Fermes modernes*, (23), 154 p.

Rémy J.-C., Marin-Laflèche A., 1974. L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. *Annales agronomiques*, 25, 607-632.

Sebillotte M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers de l'Orstom, série Biologie*, 24, 3-25.

Manichon H., Sebillotte M., 1975. Analyse et prévision des conséquences des passages successifs d'outils sur le profil cultural. *Bulletin technique d'information*, 302-303, 569-577.

Gervais M., Jollivet M., Tavernier Y. (Duby G., Wallon A., dir.), 1976. *Histoire de la France rurale, volume 4 : La fin de la France paysanne*. Éditions du Seuil, Paris, 666 p.

Rémy J.-C., Hébert J., 1977. Le devenir des engrais azotés dans le sol. *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 700-710.

Sebillotte M., 1977. Programmes d'enseignement et de recherches pour la chaire d'agronomie. INA P-G.

Osty P., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bulletin technique d'information*, 326, 43-49.

Sebillotte M., 1978a. Cours polycopié d'agronomie de 1re année à l'INA P-G. INA P-G, ronéoté.

Sebillotte M., 1978b. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture*, 64, 906-014.

Sebillotte M., 1979. Note sur le laboratoire d'agronomie de Grignon. Réunion du département Agronomie (Inra), 23-24 octobre 1979. Doc. ronéoté, 18 p. + annexes.

Teissier J.-H., 1979. Relations entre techniques et pratiques, Conséquences pour la formation et la recherche. *Bulletin Inrap*, n° 38, Dijon, 13 p.

Capillon A., Manichon H., 1979. Une typologie des trajectoires d'évolution des exploitations agricoles (principes, application au développement agricole régional). *Comptes-rendus des séances de l'Académie d'agriculture de* France, 1168-1178.

Vissac B., Hentgen A., 1979. Présentation du département de recherches sur les systèmes agraires et le développement. *In* : *Éléments pour une problématique de recherche sur les Systèmes agraires et le développement*. Inra, ronéoté, 6-12.

Gastellu J.-M., 1980. Mais où sont donc ces unités économiques que nos amis cherchent tant en Afrique ? *Cahiers de l'Orstom, série Sciences humaines*, 17 (1-2), 3-11.

Hénin S., 1980a. Rapport du groupe de travail « Activités agricoles et qualité des eaux ». Ministère de l'Agriculture, ministère de l'Environnement, Paris.

Remy J.C., Viaux P., 1980. Évolution des engrais azotés dans le sol. *Perspectives agricoles*, 43, 5-9.

Boiffin J., Caneill J., Meynard J.M., Sebillotte M., 1981. Élaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne crayeuse. I. Protocoles et méthode d'étude d'un problème technique régional. *Agronomie*, 1 (7), 549-558.

Manichon H., 1982a. Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique. Thèse de doctorat, INA P-G, Paris, 241 p.

Gerbaux F., Müller P., 1984. La naissance du développement agricole en France. *Économie rurale*, 159, 17-22.

Gillet M., Lemaire G., Gosse G., 1984. Essai d'élaboration d'un schéma global de la croissance des graminées fourragères. *Agronomie*, 4 (1), 75-82.

Lemaire G., Salette J., 1984a. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Étude de l'effet du milieu. *Agronomie*, 4, 423-430.

Biggs S.D., 1985. A farming systems approach: Some unanswered questions. *Agricultural Administration*, 18, 1-12. https://doi.org/10.1016/0309-586X(85)90037-8

Bonneviale R., 1985. Les manuels d'enseignement agricole témoin de l'évolution des disciplines scolaires, contribution au colloque de janvier 1985 « Enseignements agricoles et formations des ruraux », *Bulletin Inrap*, n° 62, recueil des contributions de l'Inrap, Dijon, 115-119.

Lemaire G., 1985. Cinétique de croissance d'un peuplement de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* SCHREB.) pendant l'hiver et le printemps. Effet des facteurs climatiques. Thèse de doctorat d'État, université de Caen, 96 p.

Meynard J.-M., 1985. Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse INA P-G, 258 p. + annexes.

Gosse G., Varle-Grancher C., Bonhomme R., Chartier M., Allirand J.M., Lemaire G., 1986. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. *Agronomie*, 6 (1), 47-56.

Gautronneau Y., Manichon H., 1987. *Guide méthodique du profil cultural*. Ceref/Geara, 69 p. http://profilcultural.isara.fr/images/stories/guide.pdf

Boiffin J., Papy F., Eimberck M., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. I. Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. *Agronomie*, 8 (8), 663-673. https://hal.inrae.fr/hal-02719230

Capillon A., Kockmann F., Fournet M.J., 1988. Diagnostic sur le travail du sol en Bresse louhannaise, conditions d'extrapolation des références. *Perspectives agricoles*, 126, 55-69.

Cerf M., Sebillotte M., 1988. Le concept de modèle général et la prise de décision dans la conduite d'une culture. *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture*, 74 (4), 71-80.

Papy F., Attonaty J.M., Laporte C., Soler L.G., 1988. Work organization simulation as a basis for farm managment advice. *Agricultural Systems*, 27, 295-314.

Sebillotte M., Soler L.G., 1988a. Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 74 (4), 59-70.

Vinatier J.-M., Kockmann F., Fabre B., Gautronneau Y., Michaux F., 1988. *Fertilité physique et travail du sol.* Chambre régionale d'agriculture Rhône-Alpes-Classeur à usage des techniciens, 118 p.

Gras R., Benoit M., Deffontaines J.P., Duru M., Lafarge M., Langlet A., Osty P.L., 1989. *Le Fait technique en agronomie*. L'Harmattan, Paris.

Perrier A., Picard D., 1989. Charte d'écophysiologie végétale. Inra, 16 p.

Combe L., Picard D. (coord.), 1990. *Les Systèmes de culture*. Inra Éditions, Versailles, 196 p.

Capillon A., Manichon H., 1991. *Guide d'étude de l'exploitation agricole à l'usage des agronomes (2e édition)*. Relance agronomique, INAP-G/APCA, Paris, 65 p.

Meynard J.-M., Girardin P., 1991. Produire autrement. *Le Courrier de la cellule environnement de l'Inra*, 15, 1-19.

Papy F., Douyer C., 1991. Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques. *Agronomie*, 11, 201-215.

Boiffin J., Lemaire G., 1992. Thématique, structures et insertion du département d'Agronomie au sein du secteur Environnement Physique et Agronomie. Éléments d'orientation, Ronéo, 32 p.

Capillon A., 1993. Typologie des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Thèse de docteur-ingénieur INAP-G, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, tome 1, 48 p., tome 2, 301 p.

Collectif, 1993. *Département d'Agronomie. Schéma directeur : 1993-1997*. Ronéoté, Inra, Paris.

Combe L., Picard D. (coord.), 1994. *Élaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Inra Éditions, Versailles, 191 p.

Monnier G., Thevenet G., Lesaffre B., 1994. *La simplification du travail du sol*. Colloque Inra-ITCF-Cemagref, mai 1991, Paris, Inra, 172 p.

Bonhomme R., Drouet J.L., Améglio T., 1995. Introduction à la modélisation du fonctionnement physiologique d'un couvert. *In* : *Actes de l'École-Chercheurs Inra en bioclimatologie*, Le Croisic, 3-7 avril 1995. *Tome 1. De la plante au couvert végétal* (Cruiziat P., Lagouarde J.P., coord.), Département de bioclimatologie de l'Inra, Thiverval-Grignon, 647-677.

Passioura J.B., 1996. Simulation models: Science, snake oil, education, or engineering? *Agronomy Journal*, 88, 690-694.

Mousset J., Aslahé C., Billa P., Boiffin J., Chatelin M.H., Chopplet M., François M., Gandon H., Groëll F., His M., Hopquin J.P., Klein D., Masset B., Papy F., Quièvreux D., Soler L.G., 1996. Le conseil agro-équipement en Picardie : Mécagro. *Actes du colloque « Aide à la décision et choix de stratégies dans les entreprises agricoles »*, Laon, Maison des Arts et Loisirs, 10 et 11 décembre 1996, Inra-Conseil régional de Picardie-Biopôle.

Cerf M., Sebillotte M., 1997. Approche cognitive des décisions de production dans l'exploitation agricole. *Économie rurale*, 239, 11-18.

Lemaire G., Nicolardot B. (eds), 1997. *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*. Inra Éditions, Versailles, 333 p.

Roqueplo P., 1997. *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique*. Éditions Quæ, Versailles, 112 p.

Aubry C., Biarnès A., Maxime F., Papy F., 1998. Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de systèmes de culture du Bassin parisien. *Études et recherches sur les systèmes agraires et le développement*, 31, 25-43.

Boulet M., 1998. L'enseignement agricole d'une loi d'orientation à l'autre 1960-1998. Conférence à la journée d'étude de la FSU pour le cent cinquantenaire de l'enseignement agricole, 25 mars 1998. Consulté sur L'école des paysans, http://ecoledespaysans.over-blog.com/2019/01/l-enseignement-agricole-d-une-loi-d-orientation-a-l-autre-1960-1998-1998.html.

Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.-H., Ruget F., Gate P. *et al.*, 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I- Theory and parametrization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18, 311-346.

Capillon A., Valceschini E., 1998. La coordination entre exploitations agricoles et entreprises agro-alimentaires. Un exemple dans le secteur des légumes transformés. *Études et recherches sur les systèmes agraires et le développement*, 31, 259-275.

Lanquetuit D., Sebillotte M.,1998. Ferti-Mieux : une expérimentation sociale pour gérer les risques en partageant des connaissances scientifiques. *In : Agriculture et environnement. Les produits entraînés par l'eau*. Colloque d'hydrotechnique,159e session du comité scientifique et technique. Société hydrotechnique de France, Paris, 18 et 19 novembre 1998, 145-155.

Meynard J.-M., 1998. La modélisation du fonctionnement de l'agrosystème, base de la mise au point d'itinéraires techniques et de systèmes de culture. *In* : *La Gestion des systèmes de culture : regards d'agronomes* (Biarnès A., Fillonneau C., Milleville P., eds), Orstom, 29-54.

Bellon S., Girard N., Guerin G., 1999. Caractériser les saisons-pratiques pour comprendre l'organisation d'une campagne de pâturage. *Fourrages*, 158, 115-132.

Champolivier J., Gasquez J., Messéan A., Richard-Molard M., 1999. Management of transgenic crops within the cropping system. *In*: *Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops* (Lutman P.J.W., ed.), Symposium Proceedings 72 BCPC, 233-240.

Baudry J., Burel F., Thenail C., Le Cœur D., 2000. A holistic landscape ecological study of the interactions between farming activities and ecological patterns in Brittany, France. *Landscape and Urban Planning*, 50 (1-3), 119-128.

Bellon S., Gautronneau Y., Riba G., Savini I., Sylvander B., 2000. L'agriculture biologique et l'Inra – vers un programme de recherche. Inra, Paris, 25 p.

Boiffin J., Stengel P., 2000. Réapprendre le sol : nouvel enjeu pour l'agriculture et l'espace rural. *Demeter*, 147-212.

Bergez J.E., Debaeke P., Deumier J.-M., Lacroix B., Leenhardt D., Leroy P., Wallach D., 2001. MODERATO: an object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules. *Ecological Modelling*, 137, 43-60.

Caneill J., Ney B., Wery J., Leterme P., 2001. Quel enseignement en agronomie pour les établissements d'enseignement supérieur du ministère de l'Agriculture et de la Pêche ? *Comptes-rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 87 (4), 277-288.

Deffontaines J.-P., Thinon P., 2001. Des entités spatiales significatives de l'activité agricole pour les enjeux environnementaux et paysagers : contribution à une agronomie du territoire. *Courrier de l'environnement de l'Inra*, 44, 12-38.

Limaux F., Meynard J.M., Recous S., 2001. Déclencher la fertilisation azotée du blé : bases théoriques et principes généraux. *Perspectives agricoles*, 273, 62-70.

Fabre B., Kockmann F., 2002. La pratique du chaulage : de la construction du référentiel à la démarche de conseil en exploitation. *Étude et Gestion des sols*, 9 (3), 213-224.

Papy F., Torre A., 2002. Quelles organisations territoriales pour concilier production agricole et gestion des ressources naturelles ? *Études et recherches sur les systèmes agraires et le développement*, 33, 151-169.

Evrard P., Vedel G., 2003. Développement agricole : réinventer le modèle à la française. *Club Demeter*, cahier n°11, 69 p.

Meynard J.-M., Doré T., Lucas P., 2003. Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes-rendus Biologies*, 326, 37-46.

Arrouays D., Hardy R., Schnebelen N., Le Bas C., Eimberck M., Roque J., Grolleau E., Doux J., Lehmann S., Saby N., King D., Jamagne M., Rat D., Stengel P., 2004. Le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols de France. *Étude et Gestion des sols*, 11 (3), 187-197.

Duru M., Cruz P., Magda D., 2004. Using plant traits to compare sward structure and composition of grass species across environmental gradients. *Applied Vegetation Science*, 7, 11-18.

Koller R., Sauter J., Pierillas S., Virot M., 2004. Classification des bassins-versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires. *Étude et Gestion des sols*, 11 (3), 219-234.

Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (eds), 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, Inra et Cemagref (France), 64 p.

Girardin P., Guichard L., Bockstaller C., 2005. *Indicateurs et tableaux de bord : guide pratique pour l'évaluation environnementale*. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 32 p.

Munier-Jolain N., Morlon P., Macé K., Savois V., Kubiak P., Quéré L., 2005. Mieux connaître les processus de prises de décision des praticiens pour adapter les préconisations à un environnement multicritère complexe et développer des outils d'aide à la décision efficaces : le cas de la lutte contre les mauvaises herbes. *Symposium Programme PSDR*, 9-11 mars 2005, Lyon, 16 p.

Cerf M., Maxime F., 2006. La coproduction du conseil : un apprentissage difficile. *In* : *Conseiller en agriculture* (Remy J., Brives H., Lemery B., coord.). Éditions Educagri, Dijon, 137-152.

Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (coords), 2006. *L'Agronomie aujourd'hui*. Éditions Quæ, Versailles, 384 p.

Sebillotte M., 2006. Penser et agir en agronome. *In* : *L'Agronomie aujourd'hui* (Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J., coord.). Quae, Versailles, 1-21.

Kockmann F., 2007. L'agriculture interrogée par le développement durable : une expérience en Saône-et-Loire. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 54, 65-79.

Lançon J., Wery J., Rapidel B., Angokaye M., Gérardeaux E., Gaborel C., Ballo D., Fadegnon B., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, 101-110. https://doi.org/10.1051/agro:2008054

Lemaire G., Jeuffroy M.H., Gastal F., 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28, 614-624.

Tamian L., 2008. Genèse du Rapport Hénin et émergence de la préoccupation environnementale dans la pensée agronomique française. Université Lumière Lyon 2 et Inra, 141 p.

Blazy J.M., Ozier-Lafontaine H., Doré T., Thomas A., Wery J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana- based systems in Guadeloupe. *Agricultural Systems*, 101, 30-41. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.02.004

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 43-62.

Philippe M.A., Polombo N., 2009. Soixante années de remembrement : essai de bilan critique de l'aménagement foncier en France. *Études foncières*, 140, 43-49.

Sadok W., Angevin F., Bergez J.É., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messéan A., Doré T., 2009. MASC, a qualitative multiattribute decision model for exante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 447-461. http://dx.doi.org/10.1051/agro/2009006

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (4), 503-515.

Barreteau O., Bousquet F., Étienne M., Souchère V., D'Aquino P., 2010. La modélisation d'accompagnement : une méthode de recherche participative et adaptative. *In* : *La Modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable* (Étienne M., coord.). Éditions Quæ, Versailles, 21-46.

Brisson N., Levrault F., 2010. *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010)*. Ademe Éditions, Angers.

Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude, Inra Éditions, 90 p.

Duru M., Cruz P., Theau J.P., 2010. A simplified method for characterising agronomic services provided by species-rich grasslands. *Crop and Pasture Science*, 61 (5), 420-433.

Étienne M. (coord.), 2010. *La Modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable*. Éditions Quæ, Versailles, 384 p.

Schott C., Mignolet C., Meynard J.-M., 2010. Les oléoprotéagineux dans les systèmes de culture : évolution des assolements et des successions culturales depuis les années 1970 dans le bassin de la Seine. *OCL. Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17, 276-291.

Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Tittonell P., 2011b. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34 (4), 197-210. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006

Le Bail M., Le Gal P.-Y., 2011. Analyse et conception des systèmes de production végétale à l'échelle des bassins d'approvisionnement agro-alimentaires. *Agronomie, environnement & société*, 1 (2), 75-86.

Médiène S., Valantin-Morison M., Sarthou J.P., de Tourdonnet S., Gosme M., Bertrand M., Roger-Estrade J., Aubertot J.N., Rusch A., Motisi N., Pelosi C., Doré T., 2011. Agroecosystem management and biotic interactions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31 (3), 491-514. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0009-1

Bonneviale J.R., Marshall É., 2012. L'apport de Michel Sebillotte à l'enseignement technique agricole. *In* : *Penser et agir en agronome, hommages à Michel Sébillotte* (Boiffin J., Doré T., coord.). Éditions Quæ, Versailles, 67-71.

Le Bellec F., Rajaud A., Harry O.L., Bockstaller C., Malezieux E., 2012. Evidence for farmers' active involvement in co-designing citrus cropping systems using an improved participatory method. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 703-714. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0070-9

Malézieux E., 2012. Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development*, 32 (1), 15-29. http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0027-z

Parnaudeau V., Reau R., Dubrulle P., 2012. Un outil d'évaluation des fuites d'azote vers l'environnement à l'échelle du système de culture : le logiciel Syst'N. *Innovations agronomiques*, 21, 59-70.

Petit M.S., Reau R., Deytieux V., Schaub A., Cerf M., Omon B., Guillot M.N., Olry P., Vivier C., Piaud S., Minette S., Nolot J.M., 2012(a). Systèmes de culture innovants : une nouvelle génération de réseau expérimental et de réseau de compétences. *Innovations agronomiques*, 25, 99-123.

Prost L., Cerf M., Jeuffroy M.-H., 2012. Lack of consideration for land-users during the design of agronomic models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 581-594.

Savard J.-F. (avec la collaboration de R. Banville), 2012. Cycles politiques. *In* : *Le Dictionnaire encyclopédique de l'administration publique* [en ligne] (Côté L., Savard J.-F., dir.). www.dictionnaire.enap.ca

Soulard C.T., Kockmann F., 2012. Construire un projet territorial agroenvironnemental. Le concept de système agraire revisité. *In : Géoagronomie, paysage et projets de territoire. Sur les traces de Jean-Pierre Deffontaines* (Lardon S., ed.). Éditions Quæ, Versailles, et NSS Dialogues, 271-287.

Bell A., Michaud A., Schaub A., Trochard R., Sagot S., Dumont S., Parnaudeau V., Leclerc B., Heurtaux M., Houot S., 2013. Réseau PRO, référencement des Produits Résiduaires Organiques dans un système d'information mutualisé. *In* : *11es Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse*, Comifer-Gemas, novembre 2013, Poitiers.

Compagnone C., Lemery B., Petit S., Kockmann F., Moretty P., 2013. Forme et réforme organisationnelles des chambres d'agriculture. Une lecture à partir des régimes d'action des conseillers. *Économie rurale*, 337, 41-58.

Gailleton J.-J., Moronval J-R., 2013. Comment la formation en agronomie dans l'enseignement technique agricole fait face à l'évolution des besoins de compétences des agriculteurs. *Agronomie, environnement & sociétés*, 3 (2), 49-59.

GT azote du Comifer, 2013. *Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales, cultures annuelles et prairies*. Comifer, 159 p.

Leclercq C., Urbano G., Kockmann F., 2013. Retour sur la formation « Relance agronomique » des années 80 : quel bilan ? *Agronomie, environnement & sociétés*, 3 (2), 109-117. http://agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/revue-aes-vol3-n2-decembre-2013-conseil-et-formation-en-agronomie-adaptation-aux-nouveaux-defis-de-lagriculture/revue-aes-vol3-n2-14/

Prévost P., Le Bail M., Nicolardot B., Leclercq C., 2013. Comment la formation des ingénieurs en agronomie évolue pour faire face à la diversité des objets et des outils de l'agronomie ? *Agronomie, environnement & sociétés*, 3 (2), 59-73.

Boiffin J., Benoît M., Le Bail M., Papy F., Stengel P., 2014. Agronomie, espace, territoire : travailler « pour » et « sur » le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie. *Cahiers Agricultures*, 23 (2), 72-83.

Laurent F., Richard G., 2014. Introduction : Quelle place pour le travail du sol dans les enjeux de durabilité des futurs systèmes de culture ? *In* : *Faut-il travailler le sol ?* (Labreuche J., Laurent F., Roger-Estrade J., eds). Éditions Quæ et Arvalis-Institut du végétal.

Lefèvre V., Capitaine M., Peigné J., Roger-Estrade J., 2014. Farmers and agronomists design new biological agricultural practices for organic cropping systems in France. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 623-632. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0177-2

Lemaire G., Franzluebers A., Carvalho P.C., Dedieu B., 2014. Integrated Crop-Livestock Systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 190, 4-8.

Makowski D., Nesme T., Papy F. Doré T., 2014. Global agronomy, a new field of research. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 293-307. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0179-0

Meynard J.-M., Messéan A. (coord.), 2014. *La Diversification des cultures. Lever les obstacles agronomiques et économiques*. Éditions Quæ, Versailles, 104 p.

Potier D., 2014. Pesticides et agro-écologie. Rapport de Dominique Potier, député de Meurthe-et-Moselle, au Premier ministre Manuel Valls, Eco'phyto, 252 p.

Trouche G., 2014. Drainage. *In* : *Les Mots de l'agronomie. Histoire et critique* (Prévost P., Morlon P., dir.). INRAE-ACT, https://mots-agronomie.inra.fr

Volper S., Bichat H., 2014. Des jardins d'essais au Cirad : une épopée scientifique française. *Histoire de la recherche contemporaine*, III (2), 113-124. https://doi.org/10.4000/hrc.789

Bellec P., Lavarde P., Lefebvre L., Madignier M.-L., 2015. *Propositions pour un cadre national de gestion durable des sols*. CGAAER/CGEDD, 138 p.

Boiffin J., Chopplet M., 2015. L'articulation recherche-développement et son organisation territoriale, défi pour l'agronomie : l'expérience Agro-Transfert. *Agronomie, environnement & sociétés*, 5 (2), 55-63.

Courtoux A., Claveirole C., 2015. *La bonne gestion des sols agricoles : un enjeu de société*. CESE, 66 p.

Lescourret F., Magda D., Richard G., Adam-Blondon A.F., Bardy M., Baudry J., Doussan I., Dumont B., Lefèvre F., Litrico I., Martin-Clouaire R., Montuelle B., Pellerin S., Plantegenest M., Tancoigne E., Thomas A., Guyomard H., Soussana J.F., 2015. A social-ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 68-75.

Cancian N., Prévost P., Chrétien F., Simonneaux L., Olry P., Métral J.F., David M., 2016. Les savoirs agronomiques dans les itinéraires de conception de référentiels de diplômes – Comment sont pris en compte les nouveaux enjeux sociétaux et les savoirs émergents ? Et quels rôles pour les agronomes ? *Agronomie, environnement & sociétés*, 6 (2), 151-167.

Cerf M., Guillot M.N., Orly P., Omon B., Petit M.S., 2016. Renouveler la place du conseiller dans la production de savoirs agronomiques dans l'action : le rôle de dispositifs d'échange sur le métier. *Agronomie, environnement & sociétés*, 6(2), 175-182.

Collectif, 2016. *L'Agronome en action : mobiliser concepts et outils de l'agronomie dans une démarche agroécologique*. Educagri Éditions, 357 p.

Moraine M., Grimaldi J., Murgue C., Duru M., Therond O., 2016. Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level. *Agricultural Systems*, 147, 87-97. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.06.002

Van Dijk P., Rosenfelder C., Scheurer O., Duparque A., Martin P., 2016. Une approche agronomique territoriale pour lutter contre le ruissellement et l'érosion des sols en Alsace. *Agronomie, environnement & sociétés*, 6, 35-47.

Debaeke P., Pellerin S., Scopel E., 2017. Climate-smart cropping systems for temperate and tropical agriculture: mitigation, adaptation and trade-offs. *Cahiers Agricultures*, 26 (3), 1-12.

Duru M., Justes E., Falconnier G., Journet E.-P., Triboulet P., Magrini M.-B., 2017. Analyse du concept de santé globale pour accompagner les transitions agricoles et alimentaires : application au cas des légumineuses. *Agronomie, environnement & sociétés*, 7 (1), 83-95.

Jones J.W., Antle J.M., Basso B.O., Boote K.J., Conant R.T., Foster I., Godfray H.C.J., Herrero M., Howitt R.E., Janssen S., Keating B.A., Munoz-Carpena R., Porter C.H., Rosenzweig C., Wheeler T.R., 2017b. Towards a new generation of agricultural system models, data, and knowledge products: state of agricultural systems science. *Agricultural Systems*, 155, 269-288.

Meynard J.-M., Jeuffroy M.H., Le Bail M., Lefèvre A., Magrini M.B., Michon C., 2017. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems*, 157, 330-339.

Moraine M., Melac P., Ryschawy J., Duru M., Therond O., 2017. A participatory method for the design and integrated assessment of crop-livestock systems in farmers' groups. *Ecological Indicators*, 72, 340-351. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.012

Chauvel B., Darmency H., Munier-Jolain N., Rodriguez A. (coords), 2018. *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. Éditions Quæ, Versailles, 350 p.

Cornu P., Valceschini E., Maeght-Bournay O., 2018. *L'Histoire de l'Inra, entre science et politique.* Éditions Quæ, Versailles, 463 p.

Fournil J., Kon Kam King J., Granjou C., Cécillon L., 2018. Le sol : enquête sur les mécanismes de (non) émergence d'un problème public environnemental. *VertigO*, 18 (2). http://journals.openedition.org/vertigo/20433

Muller P., 2018. *Les Politiques publiques*. Presses universitaires de France/Humensis, Paris, 126 p.

Prévost P., Métral J.F., Simonneaux L., Cancian N., Chrétien F., David M., Olry P., 2018. Approche pluridisdactique pour l'élaboration curriculaire dans l'enseignement des sciences techniques en formation professionnelle : propositions à partir de l'exemple de l'agronomie. *Éducation et didactique*, 12 (2), 53-71. https://doi.org/10.4000/educationdidactique.3248

Salembier C., Segrestin B., Berthet E., Weil B., Meynard J.M., 2018. Genealogy of design reasoning in agronomy: lessons for supporting the design of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 164, 277-290. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.005

Billen G., Lassaletta L., Garnier J., Le Noë J., Aguilera E., Sanz-Cobena A., 2019. Opening to distant markets or local reconnection of agro-food systems? Environmental consequences at regional and global scales. *In*: *Agroecosystem Diversity. Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality* (Lemaire G., De Faccio Carvalho P.C., Kronberg S., Recous S., eds), Elsevier-Academic Press, 391-413.

Fosse J., Aussilloux V., Grémillet A., Mesqui B., 2019. *Faire de la politique agricole commune un levier de la transition écologique*. France Stratégie, 106 p.

Gauffreteau A., Debaeke P., Lorgeou J., 2019. *Innovations variétales.* 2009-2019 Retour sur 10 ans du GIS GC-HP2E, « Coopérative » de projets. https://www.gchp2e.fr/content/download/3962/40368/version/1/file/INRA_TRANSFERT_LIVRET-GCHP2E_EXE_PAP_72DPI.pdf

Kockmann F., Pouzet A., Omon B., Paravano L., Cerf M., 2019. La démarche clinique en agronomie : sa mise en pratique entre conseiller et agriculteur. *Agronomie, environnement & sociétés*, 9 (2), 15-25.

Lemaire G., De Faccio Carvalho P.C., Kronberg S., Recous S. (eds), 2019a. *Agroecosystem diversity. Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality.* Elsevier-Academic Press, London, 464 p.

Pellerin S., Balesdent J., Debaeke P., Itier B., 2019b. La prise en charge de l'enjeu climatique dans les recherches du département. *In* : *Une agronomie pour le XXIe siècle* (Richard G., Stengel P., Lemaire G, Cellier P., Valceschini E., coord.), Éditions Quæ, 70-89.

Richard G., Stengel P., Lemaire G., Cellier P., Valceschini E. (coord.), 2019. *Une agronomie pour le XXIe siècle*. Éditions Quæ, Versailles, 304 p.

Angevin F., Constantin J., Boiffin J., 2020. L'expérimentation numérique et l'évaluation multicritères : deux approches pour éclairer les choix en matière d'implantation des cultures. *In* : *Réussir l'implantation des cultures. Enjeux agroécologiques, itinéraires techniques* (Boiffin J., Laurent F., Richard G., coord.). Éditions Quæ et Arvalis, Versailles et Paris, 397-417.

Collectif, 2020. Quel théâtre d'agriculture et ménage des champs aujourd'hui ? *Agronomie, environnement & sociétés*, 10 (2), 237 p.

Cornu P., Meynard JM., 2020. Pour une épistémologie historique de l'agronomie française. *Agronomie, environnement & sociétés*, 10 (2). https://agronomie.asso.fr/aes-10-2-4

Jeuffroy M.-H., Ravier C., Lenoir A., Meynard J.-M., 2020. Appi-N : une nouvelle approche pour le raisonnement de la fertilisation azotée du blé. *Agronomie, environnement & sociétés*, 9 (1).

Laroche B., Degan F., Koller R., Scheurer O., Bouthier A., Moulin J., Sauter J., Ducommun C., Fort J.L., Maillant S., Party J.P., Renouard C., Saby N.P.A., Bertouy B., 2020. Typterres : vers une typologie agronomique partagée. *Étude et Gestion des sols*, 27, 241-255.

Beillouin D., Ben-Ari T., Malézieux E., Seufert V., Makowski D., 2021. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology*, 27 (19), 4697-4710. https://doi.org/10.1111/gcb.15747

Conseil d'État, 2021. Pesticides : le Conseil d'État ordonne que les règles d'utilisation soient complétées pour mieux protéger la population, 26 juillet 2021. https://www.conseil-etat.fr/actualites/actualites/pesticides-le-conseil-d-etat-ordonne-que-les-regles-d-utilisation-soient-completees-pour-mieux-proteger-la-population

Cornu P., 2021. *La Systémique agraire à l'Inra. Histoire d'une dissidence*. Éditions Quæ, Versailles, 184 p.

Duru M., Le Bras C., Grillot M., 2021. Une approche holistique de l'élevage, au cœur des enjeux de santé animale humaine et environnementale. *Cahiers Agricultures*, 30, 26. https://doi.org/10.1051/cagri/2021013

Meynard J.-M., Jeuffroy M.-H., 2021. Agroécologie et innovation. *In* : *La Transition agroécologique. Quelles perspectives en France et ailleurs dans le monde ?* (Hubert B., Couvet D., eds). Éditions Presses des Mines, 85-105.

Liste des auteurs

BÉGUÉ Agnès, UMR TETIS, Cirad-ES, Maison de la Télédétection, 500, rue Jean-François Breton, 34093 Montpellier.

BELLON Stéphane, INRAE, unité Écodéveloppement, Domaine Saint-Paul, 228, route de l'Aérodrome, Site Agroparc – CS 40509, 84914 Avignon Cedex 9.

BENOÎT Marc, ex-directeur de recherche INRAE, département ACT, Centre Grand-Est, unité Aster, 662, avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt.

BOIFFIN Jean, INRAE, Centre Pays de la Loire – Angers, 42, rue Georges Morel, CS 60057, 49070 Beaucouzé Cedex 01.

CANEILL Jacques, Institut Agro Dijon, 26, bd Docteur Petitjean – BP 87999, 21079 Dijon Cedex.

CERF Marianne, université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR SAD-APT, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

CORNU Pierre, université Lyon-II, INRAE, Laboratoire d'études rurales, Maison des sciences de l'Homme, 16, avenue Berthelot, 69007 Lyon.

DORÉ Thierry, UMR agronomie INRAE/AgroParisTech, 22, place de l'Agronomie, 91120 Palaiseau.

DURU Michel, INRAE, UMR AGIR, 1248, Chemin de Borde-Rouge, 31326 Auzeville.

FABRE Bernard, ex-enseignant en agronomie et responsable pédagogique à l'Institut supérieur d'agriculture Rhône-Alpes (ISARA), 23, rue Jean Baldassini, 69364 Lyon Cedex 07.

FRESCO Louise, université de Wageningen, 6708 PB Wageningen, Pays-Bas.

GAILLETON Jean-Jacques, ex-inspecteur pédagogique en agronomie, Inspection de l'enseignement agricole, ministère de l'Agriculture, DGER, 1ter, rue de Lowendal, 75007 Paris.

GOUACHE David, Terres Inovia, 11, rue Gaspard Monge, 33600 Pessac.

KOCKMANN François, ex-directeur de la Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire, 59, rue du 19 mars 1962, BP522, 71010 Macon.

KOLLER Rémi, ex-directeur Association pour la Relance agronomique en Alsace, 2, rue de Rome, 67300 Schiltigheim.

LEMAIRE Gilles, Académie d'agriculture de France, 18, rue de Bellechasse, 75007 Paris.

MALÉZIEUX Éric, Cirad, unité de recherche HortSys, université Montpellier, TA B-103/C, Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5.

MESSÉAN Antoine, INRAE, UMR Agronomie, AgroParisTech, INRAE, université Paris-Saclay, campus de Grignon, avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon.

MEYNARD Jean-Marc, université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR SAD-APT, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

MICHEL Isabelle, Institut Agro Montpellier, 1101 avenue Agropolis, 34090 Montpellier.

MORETTY Pascale, chef du service Territoires, Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire, 59, rue du 19 mars 1962, BP522, 71010 Macon.

PAPY François, Académie d'agriculture de France, 18, rue de Bellechasse, 75007 Paris.

POUZET André, ex-directeur de Terres Univia et de Terres Inovia (ex-Cetiom), 11 rue de Montceau, CS 6003, 75378 Paris Cedex 08; actuellement président de l'Actia, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

PRÉVOST Philippe, Alliance Agreenium,
42, rue Scheffer, 75016 Paris.

SALEMBIER Chloë, université Paris-Saclay,
INRAE, AgroParisTech, UMR SAD-APT,
16, rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

SAUZET Gilles, ex-ingénieur de
développement
à Terres Inovia, région Centre-Val-de-Loire,
270, avenue de la Pomme de Pin, 45160 Ardon.

TRÉBUIL Guy, UMR Innovation, Cirad-ES,
73 rue Jean-François Breton,
34398 Montpellier cedex 5.

En couverture : © curto, stock.adobe.com
Relecture : Juliette Blanchet
Infographie : Hélène Bonnet, Studio9
Mise en pages : Hélène Bonnet, Studio9
Achevé d'imprimer en juin 2022 par HUMA Print
Numéro d'impression :
Dépôt légal : juin 2022

Depuis la Seconde Guerre mondiale, l'agronomie est devenue une discipline scientifique et technique à part entière, qui appuie le raisonnement des pratiques de production végétale. Conçue initialement comme application de la chimie agricole et de la physiologie végétale, elle a développé ses propres concepts et étendu son domaine, en intégrant les savoirs issus de nombreuses autres disciplines. Elle s'est aussi construite en étudiant les pratiques des agriculteurs et des autres acteurs de l'espace rural. Ces évolutions lui ont permis de renouveler son utilité, en répondant aux nouveaux enjeux auxquels l'agriculture n'a cessé d'être confrontée.

Comment s'est opérée cette construction ? Quels en ont été les processus, les étapes et les acteurs ? En analysant la manière dont l'agronomie s'est façonnée en France, du milieu du XXe siècle à nos jours, *La Fabrique de l'agronomie* vise à éclairer l'avenir et à susciter des réflexions utiles sur les conditions de son développement dans les prochaines décennies.

Cet ouvrage sur l'évolution de la discipline s'adresse notamment aux agronomes de tous métiers confrontés aux défis à venir, qu'ils soient étudiants, actifs ou retraités.

Jean Boiffin est directeur de recherche honoraire de l'Inra (devenu INRAE en 2020), où il a été chef du département d'Agronomie puis directeur scientifique en charge des relations entre agriculture et environnement.

Thierry Doré est professeur d'agronomie à AgroParisTech. Il est actuellement vice-président Recherche et valorisation de l'Université Paris-Saclay.

François Kockmann a été chef du service Agronomie-gestion de l'espace-environnement puis directeur de la Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire.

François Papy est directeur de recherche honoraire de l'Inra. Il a été professeur d'agronomie à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan-II de Rabat puis a dirigé une unité de recherche du département Système agraire et développement de l'Inra.

Philippe Prévost est ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts. Après avoir occupé des postes de direction dans l'enseignement technique et l'enseignement supérieur agricole, il est actuellement chargé des coopérations numériques et de la valorisation des connaissances au sein de l'Alliance Agreenium.

AgroParisTech — L'institut agro — Association Française d'Agronomie

59 €

ISBN : 978-2-7592-3541-4

éditions Quæ
Éditions Cirad, Ifremer, INRAE
www.quae.com

cirad
INRAE

9 782759 235414

ISSN : 1777-4624
Réf. : 02838